



Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa

Estudo de anéis anuais de crescimento de árvores como indicadores climáticos em Portugal

Alexandra Maria Rodrigues Ferreira Lauw

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais

Orientador: Doutora Helena Margarida Nunes Pereira

Co-orientador: Doutora Sofia Pereira Leal

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Reis de Noronha Ribeiro de Almeida,
Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da
Universidade Técnica de Lisboa;

Vogais: Doutora Helena Maria de Oliveira Freitas, Professora Catedrática da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra;

Doutora Helena Margarida Nunes Pereira, Professora Catedrática do
Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutor José Luís Penetra Cerveira Louzada, Investigador Auxiliar da
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro;

Doutora Sofia Pereira Leal.

Lisboa, 2011

*“Li circuii delli rami degli alberi segati
mostrano il numero delli suoi anni, e quali
furono più umidi o più secchi secondo la
maggiore o minore loro grossezza.”*

*In: “TRATTATO DELLA PITTURA”
DI LIONARDO DA VINCI
(publicado em 1817)*

Agradecimentos

À minha orientadora, Professora Doutora Helena Margarida Nunes Pereira por ter aceite orientar esta tese e pelo seu espírito crítico que contribuíram significativamente para a qualidade deste trabalho.

Página | iii

À minha co-orientadora, Doutora Sofia Pereira Leal por me ter apoiado desde o primeiro dia e por estimular o meu interesse pelo conhecimento. Pela nossa amizade.

À Eng^a Graça Barreira da Unidade de Gestão Florestal do Nordeste Transmontano da Autoridade Florestal Nacional, pelo apoio institucional e logístico durante a fase de recolha do material florestal para a realização da presente tese de mestrado.

À Professora Fátima Tavares do Departamento de Engenharia Florestal (Instituto Superior de Agronomia) e à Doutora Teresa Quilhó do Centro de Florestas e Produtos Florestais (Instituto de Investigação Científica Tropical) pela permanente disponibilidade em facultar livros técnicos que foram muito úteis para a elaboração da presente tese.

À minha colega do Laboratório DendroPORT do Centro de Estudos Florestais do Instituto Superior de Agronomia, Ana Luísa Luz, pelo permanente apoio. Pelos *brainstorming* que foram surgindo no decorrer dos dias e que permitiram o debate de muitas ideias e o esclarecimento de muitas dúvidas.

À minha família, elemento estrutural da minha vida, pelo amor, incentivo e permanente disponibilidade em ajudar e aliviar os momentos mais difíceis que foram surgindo no decorrer da realização da presente tese de mestrado.

Aos amigos que, apesar da distância, sempre se disponibilizaram para assegurar o bem-estar dos meus filhos, Bárbara e Jürgen, nos momentos em que o trabalho me exigia um maior distanciamento físico ou afectivo.

Resumo

No presente trabalho foi realizada uma abordagem dendroclimatológica, com recurso a técnicas dendrocronológicas, em amostras recolhidas na Serra da Nogueira (Terra Fria Transmontana) de *Quercus pyrenaica* Willd, *Pinus sylvestris* L. e *Abies alba* Miller. O objectivo foi estudar as relações entre factores climáticos e o crescimento do *Q. pyrenaica* e o efeito das secas de maior severidade no crescimento desta espécie. Após constatação dos efeitos da seca, pretende-se avaliar o grau de recuperação posterior das árvores *Q. pyrenaica* em dois locais distintos. A influência do clima foi avaliada pela comparação de cronologias relativas à espessura total do anel de crescimento, lenhos de início e fim de estação com dados climatológicos de Bragança para o período 1950-2008. As correlações obtidas entre a precipitação/temperatura e as cronologias das três espécies não foram suficientemente significativas para permitir uma estimativa das variações climáticas passadas através de modelos estatísticos que recorrem às séries de anéis de crescimento indexadas. O crescimento do *P. sylvestris* está directamente relacionado com a precipitação que ocorre no início da actividade cambial (Abril/Maio) e nos meses de Outono do ano anterior.

O *P. sylvestris* apresentou uma reacção diferente às secas extremas quando comparado com o *Q. pyrenaica* no mesmo local de amostragem, reagindo mais acentuadamente à seca 2004-2006. O *Q. pyrenaica* foi nitidamente mais afectado pela seca severa 1974-1976, constatando-se que a capacidade de recuperação das árvores da encosta sul é menor relativamente às árvores da encosta norte. Como reacção ao stress hídrico verificado em 1974-1976, as árvores produziram menos lenho de fim de estação, situação que se manteve nos anos seguintes nas árvores da encosta sul; contrariamente, as árvores da encosta norte voltaram a produzir semelhante proporção de lenho de início e de fim de estação ao registado antes da referida seca.

Abstract

In the present study a dendroclimatological approach, using dendrochronological techniques, was made in samples taken from Serra da Nogueira (Terra Fria Transmontana) of *Quercus pyrenaica* Willd, site with the main stand of this species in Portugal. *Pinus sylvestris* L. e *Abies alba* Miller, conifers present in the sampling site were analysed and compared simultaneously. The influence of climate was evaluated by comparing total rings, earlywood and latewood indices with monthly climatic data collected at Bragança's weather station over the period between 1950 and 2008.

The correlation between rainfall/temperature and the chronology of the three species were not meaningful enough to allow an evaluation of the past climatic variation over statistical models, that rely on indexed series of tree rings. In comparison to *Q. pyrenaica* of the same sampling site, *P. sylvestris* evidenced a different reaction faced to extreme dry periods, stronger during 2004 and 2006. *Q. pyrenaica* was affected strongly during severe droughts between 1974 and 1976, regarding that the recovery of the south sloped trees is lower than the north sloped trees. Possible ecophysiological arguments are presented to sustain obtained results.

Extended Abstract

The study of the influence of the climate over the sampled trees of *Quercus pyrenaica* Willd., on the north and south slopes of Serra da Nogueira (Trás os Montes e Alto Douro), simultaneously with *Pinus sylvestris* L. e *Abies alba* Miller, by using dendrochronological techniques, allowed to conclude that the same are not influenced by defined climatical factors, *a priori*, for this study - temperature and rainfall. Tree growth in the collection sites may rather be related to a combination of these variables with other climatic and/or non-climatic factors. However, it has been proven through statistical indicators that the number of samples used for each species and site was sufficient.

Página | vi

Q. pyrenaica, from south and north slopes, showed a significant correlation between the total thickness of the ring and latewood; the correlations between the total thickness of the ring and the earlywood are lower, but still significant. *P. sylvestris* presents a lower correlation between the total thickness of the ring and latewood, compared with the previous species, but still significant. The highest inter-annual variability of latewood reflects the climate impact on their development, with earlywood less sensitive to this factor.

Q. pyrenaica growth of southern slope has a positive effect with the accumulated rainfall from early spring until August, and isn't dependent on rainfall the previous winter; a limiting factor on the radial growth could be high temperature during active exchange as well as the minimum temperature on the beginning activity. *Q. pyrenaica* growth of north side has a positive effect with the accumulated rainfall in April and May, however it's not influence by the temperature. Not recorded any significant correlation between precipitation and total thickness of the ring growth of *P. sylvestris*. Yet, latewood is directly related to the precipitation that occurs at beginning exchange activity (April/May) and in the winter months of previous year (October to December). The negative effect of average temperature in July, beside positive effect of precipitation during that month, leads to a limitation of latewood growth, either for lack of water or the high temperatures this month; winter temperatures has a positive impact on radial growth of *P. sylvestris*.

Correlations between the index chronologies established for the *Q. pyrenaica* and *P. sylvestris* of study sites and the precipitation and temperature were not significant enough to allow an estimation of past climate variations using statistical models that use the series of growth rings indexed.

Q. pyrenaica, reacted on both slopes, during extreme drought that took place at the Mainland Portugal during the second part of the 20th century and the beginning of the 21th century, affecting the total ring width and their compounds - earlywood and latewood. Compared to the trees of the south slopes, the trees of the north slopes react in a lower quantity. Through statistic analysis, it's visible that the trees growth was mainly affected by the drought between 1974 and 1976, and the recovery of the south sloped trees was worse than the north sloped trees. *P. sylvestris* has no direct reaction visible, considering the droughts mentioned before. However, drought between 2004 and 2006 showed a common reaction on all tree samples.

The proportions of early and latewood on the total thickness of the ring of *Q. pyrenaica* vary over time and across slopes; trees of drier sites (in this case, on the south side) present a higher proportion of latewood. It's evident the allocation of the severe drought of 1974/76 in the proportion of early and latewood, mainly in trees in the southern slope, with an increase in the proportion of latewood after 1974/76 (43% to 54% of the total thickness of the ring); trees of the northern side remain, on average, approximately the same ratio before (34% -66%) and after (36% -64%) the climate event. However, within three years of drought, trees produce more earlywood, with trees on the south side and north to register a rate of 68%-32% and 58%-42%, respectively.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Extended Abstract	vi
Índice	viii
Lista de figuras.....	x
Lista de quadros.....	xii
Lista de abreviaturas.....	xiii
CAP 1. Introdução	1
CAP 2. Anéis de crescimento anual das plantas.....	4
2.1. Formação de anéis de crescimento anual.....	4
2.2. Caracterização geral da estrutura anatómica do xilema	4
2.3. Características anatómicas das espécies estudadas	8
2.3.1. <i>Abies alba</i> Mill.	8
2.3.2. <i>Pinus sylvestris</i> L.	8
2.3.3. <i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	8
2.4. Factores ambientais que afectam a formação e características dos anéis de crescimento	9
CAP 3. Dendrocronologia	13
3.1. Conceito	13
3.2. Breve descrição histórica	14
3.3. Princípios básicos da dendrocronologia.....	16
CAP 4. Efeitos do clima sobre os anéis de crescimento das espécies em estudo	18
4.1. Caracterização edafo-climática da área de estudo	18
4.2. Material.....	21
4.3. Metodologia.....	23
4.3.1. Amostragem.....	23

4.3.2. Preparação das amostras	24
4.3.3. Medição dos anéis de crescimento	25
4.3.4. Sincronização e datação das séries de anéis de crescimento	26
4.3.4.1. Principais indicadores estatísticos das séries de anéis de crescimento.....	27
4.3.4.1.1. Sensibilidade média	27
4.3.4.1.2. Desvio padrão.....	28
4.3.4.1.3. Gleichläufigkeit.....	28
4.3.4.1.4. Coeficiente de correlação	29
4.3.5. Construção de cronologias de anéis de crescimento.....	30
4.3.5.1. Padronização das séries de anéis de crescimento	30
4.3.5.2. Indicadores estatísticos das cronologias.....	32
4.3.5.3. Sinal efectivo da cronologia	32
4.3.5.4. Sinal expresso da população	32
4.3.6. Identificação do sinal climático das cronologias de anéis de crescimento.....	33
4.3.7. Identificação de anos com crescimentos extremos	34
4.4. Resultados e discussão.....	35
4.4.1. Análise e caracterização das séries de anéis de crescimento	35
4.4.2. Relações entre o clima e o crescimento da árvore	44
4.4.2.1. Identificação de sinais climáticos nas cronologias	44
4.4.2.2. Eventos extremos.....	50
4.4.2.2.1. Análise nas séries de anéis de crescimento	52
4.4.2.2.2. Anos indicadores	54
4.4.2.3. Recuperação do <i>Quercus pyrenaica</i> Willd. após a seca 1974/76.....	60
CAP 5. Conclusões.....	65
CAP 6. Bibliografia	67

Lista de figuras

Figura 1. Estrutura da madeira das resinosas nos planos transversal, radial e plano tangencial. 6

Figura 2. Estrutura da madeira das folhosas nos planos transversal, radial e plano tangencial .. 7

Figura 3. Reacções da árvore à precipitação..... 9 Página | x

Figura 4. Reacções da árvore ao tipo de solo [A] raízes profundas, subsolo fino e húmido; árvores grandes com copa compacta e anéis de crescimento largos [B] raízes superficiais, subsolo rochoso e seco; árvores pequenas com copas descaídas e anéis de crescimento estreitos [C] raízes superficiais, lamaçal com lençol freático elevado; árvores pequenas com copas estreitas, frequentemente com agulhas amareladas e anéis de crescimento estreitos.. 10

Figura 5. Reacções da árvore à luz [A] Duas árvores dominantes (anéis de crescimento largos) e uma dominada (anéis de crescimento estreitos) [B] Uma árvore dominante (anéis de crescimento largos) e uma árvore com um desbaste à cinco anos; a rápida disponibilidade de luz na árvore dominada resulta numa rápida taxa de crescimento, com a formação de anéis mais largos 10

Figura 6. Reacções da árvore ao vento [A] vento muito leve a soprar num dos lados da árvore, com o vento a soprar apenas contra uma pequena área da árvore; medula excêntrica mas sem sinal de lenho de reacção [B] a árvore não apresenta ramos de um dos lados por causa do vento forte, resultando numa medula excêntrica e a formação de lenho de reacção [C] copa de árvore e secção transversal do tronco sujeita a ventos de diferentes intensidades..... 11

Figura 7. Clima de Portugal Continental, segundo a classificação de Koppen (Fonte: INM) 19

Figura 8. Diagrama ombrotérmicos da região de Bragança para a série de 30 anos (1980 – 2010) 20

Figura 9. Povoamento de *Quercus pyrenaica* na Serra da Nogueira 21

Figura 12. Preparação de amostra para lixagem..... 24

Figura 10. Verruma SUUNTO..... 24

Figura 11. Técnica de retirada de uma verrumada numa árvore 24

Figura 13. Lixadeira de bancada [A] e lixadeira manual [B] 25

Figura 14. Anéis de crescimento de [A] *Pinus sylvestris* e [B] *Quercus pyrenaica* 25

Figura 15. Séries de anéis de crescimento de duas verrumadas da mesma árvore de *P. sylvestris* (linhas superior e inferior) e média da árvore (linha intermédia) 26

Figura 16. Equipamento de medição dos anéis de crescimento..... 26

Figura 17. Séries de crescimento do *Q. pyrenaica* da encosta sul (SNSQP) (RWW - anel de crescimento completo; EWW - lenho de início de estação; LWW - lenho de fim de estação)... 37

Figura 18. Séries de crescimento do *Q. pyrenaica* da encosta norte (SNNQP) (RWW - anel de crescimento completo; EWW - lenho de início de estação; LWW - lenho de fim de estação)... 38

Figura 19. Séries de crescimento do *P. sylvestris* da encosta sul (SNSPS) (RWW—anel de crescimento completo; EWW—lenho de início de estação; LWW—lenho de fim de estação) 38

Figura 20. Séries de crescimento do *A. alba* da encosta norte (SNNAA) (RW - anel de crescimento completo) 39

Figura 21. Representação da espessura dos anéis de crescimento em função da idade da árvore (a título de exemplo numa folhosa e numa resinosa). Pontuação azul corresponde aos dados observados e pontuação vermelha a linha de tendência [A] função exponencial negativa [B] regressão linear [C] linha média..... 40

Figura 22. Curva indexada de [A] *Q. pyrenaica* da encosta sul, SNSQP [B] *Q. pyrenaica* da encosta norte, SNNQP [C] *P. sylvestris*, SNSPS [D] *A. alba*, SNNAA 41

Figura 23. Identificação das principais secas nas séries de crescimento dos anéis do *Q. pyrenaica* localizados na encosta sul da Serra da Nogueira (SNS)..... 53

Figura 24. Identificação das principais secas nas séries de crescimento dos anéis do *Q. pyrenaica* localizados na encosta norte da Serra da Nogueira (SNN)..... 53

Figura 25. Identificação das principais secas nas séries de crescimento dos anéis do *P. sylvestris* localizados na encosta sul da Serra da Nogueira (SNS)..... 54

Figura 26. Número de árvores por cada intervalo de variação da alteração do crescimento [A] da espessura total do anel [B] do lenho de início de estação [C] do lenho de fim de estação, para a espécie *Q. pyrenaica* localizada na encosta sul, para o período 1906-2008 55

Figura 27. Número de árvores por cada intervalo de variação da alteração do crescimento [A] da espessura total do anel [B] do lenho de início de estação [C] do lenho de fim de estação, para a espécie *Q. pyrenaica* localizada na encosta norte, para o período 1945-2008 57

Figura 27. (continuação) Número de árvores por cada intervalo de variação da alteração do crescimento [A] da espessura total do anel [B] do lenho de início de estação [C] do lenho de fim de estação, para a espécie *Q. pyrenaica* localizada na encosta norte, para o período 1945-2008..... 58

Figura 28. Número de árvores por cada intervalo de variação da alteração do crescimento [A] da espessura total do anel [B] do lenho de início de estação [C] do lenho de fim de estação, para a espécie *P. sylvestris* localizada na encosta sul, para o período 1950-2008 59

Figura 29. Espessura média do anel de crescimento do *Q. pyrenaica* nas vertentes norte (SNNQP) e sul (SNSQP) da Serra da Nogueira relativamente a [A] espessura total [B] lenho de início de estação e [C] lenho de fim de estação..... 60

Figura 29. (continuação) Espessura média do anel de crescimento do *Q. pyrenaica* nas vertentes norte (SNNQP) e sul (SNSQP) da Serra da Nogueira relativamente a [A] espessura total [B] lenho de início de estação e [C] lenho de fim de estação..... 61

Figura 30. Proporção do lenho de início de estação (EW) e do lenho de fim de estação (LW) na espessura total do anel de crescimento do *Q. pyrenaica* nas vertentes norte (SNNQP) e sul (SNSQP) da Serra da Nogueira 63

Lista de quadros

Quadro 1. Caracterização física dos locais de amostragem.....	22
Quadro 2. Características da amostragem do <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Pinus sylvestris</i> e <i>Abies alba</i> 23	
Quadro 3. Caracterização da amostragem por espécie e local e respectivas datações	36
Quadro 4. Espessura média dos anéis de crescimento (mm), por espécie e local (RWW - anel de crescimento completo; EWW - lenho de início de estação; LWW - lenho de fim de estação)...	36
Quadro 5. Caracterização da qualidade estatística das séries de anéis de crescimento, por espécie e local	39
Quadro 6. Estatística das cronologias, por espécie e local (RWW–anel de crescimento completo; EWW–lenho de início de estação; LWW–lenho de fim de estação)	42
Quadro 7. Intensidade do sinal das cronologias (RWW–anel de crescimento completo; EWW–lenho de início de estação; LWW–lenho de fim de estação).....	43
Quadro 8. Correlações entre as cronologias das variáveis do anel de crescimento, por espécie e local com um nível de significância 99% (RWW - anel de crescimento completo; EWW - lenho de início de estação; LWW - lenho de fim de estação; LWW_{i-1} - lenho de fim de estação do ano anterior; * nível de significância 95%)	44
Quadro 9. Coeficientes de correlação entre a precipitação e os anéis de crescimento (espessura total (RWW), lenho de início (EWW) e de fim de estação (LWW)), por espécie e local estudadas, para o período de 1950-2008 (* nível de significância 95% ** nível de significância 99% <i>ns</i> não significativo)	48
Quadro 10. Coeficientes de correlação entre a temperatura média e os anéis de crescimento (espessura total (RWW), lenho de início (EWW) e de fim de estação (LWW)), por espécie e local estudadas, para o período de 1950-2008 (* nível de significância 95% ** nível de significância 99% <i>ns</i> não significativo)	49
Quadro 11. Coeficientes de correlação entre a temperatura máxima e os anéis de crescimento (espessura total (RWW), lenho de início (EWW) e de fim de estação (LWW)), por espécie e local estudadas, para o período de 1950-2008 (* nível de significância 95% ** nível de significância 99% <i>ns</i> não significativo)	49
Quadro 12. Coeficientes de correlação entre a temperatura mínima e os anéis de crescimento (espessura total (RWW), lenho de início (EWW) e de fim de estação (LWW)), por espécie e local	

estudadas, para o período de 1950-2008 (* nível de significância 95% ** nível de significância 99% <i>ns</i> não significativo)	50
Quadro 13. Classificação do Índice de Palmer	51

Lista de abreviaturas

RWW – Ring width (espessura do anel de crescimento)

EWV – Earlywood (lenho de início de estação)

LWW – Latewood (lenho de fim de estação)

CAP 1. Introdução

O presente trabalho está inserido no projecto *Reconstruções de climas passados e cenários futuros de alterações climáticas em Portugal utilizando uma abordagem dendroclimatológica* (Projecto PTDC/ACC-CLI/103046/2008), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através do Programa 3599 – Promover a Produção Científica. O objectivo geral do projecto consiste no estudo das relações entre o crescimento arbóreo e factores climáticos em Portugal, utilizando técnicas de dendrocronologia. O projecto pretende, igualmente, obter conhecimentos sobre o clima no passado, em fases anteriores à existência de dados instrumentais com o objectivo de interpretar o presente contexto de alterações climáticas.

Página | 1

A espessura dos anéis de crescimento numa árvore observados na secção transversal do tronco varia, de um modo geral, de ano para ano ao longo do raio devido a efeitos específicos do ambiente e não apenas à idade cambial da árvore. O crescimento da árvore é influenciado por muitas variáveis inter-relacionadas, tais como disponibilidade de água, competição e doenças, entre outros. A ciência que estuda as sequências cronológicas dos anéis de crescimento anuais das árvores é designada por dendrocronologia (Dickison, 2000).

Com o presente trabalho deu-se início ao estudo do efeito dos episódios de seca intensa e prolongada na floresta portuguesa. O aumento de eventos climáticos extremos, como as secas por exemplo, podem ser um resultado do aquecimento global (Miranda *et al.*, 2002). Há um consenso relativamente à questão de que as alterações, em frequência e/ou intensidade, de eventos climáticos extremos são susceptíveis de ter impactos profundos sobre a sociedade e o meio ambiente (Miranda *et al.*, 2002). Portugal Continental é especialmente propenso a episódios de seca, devido à sua localização geográfica, sendo a zona sul do país a mais vulnerável, prevendo-se um aumento da frequência deste tipo de fenómeno climático extremo no futuro (Santos *et al.*, 2001). De acordo com um estudo da Comissão Europeia (2007), Portugal regista, actualmente, um período de retorno de secas extremas de 10-15 anos, com uma duração de 1 a 3 anos e afectando, dum modo geral, todo o território. Portugal Continental encontra-se localizado numa região de transição entre a zona de depressão subpolar e o anticiclone subtropical que afectam, respectivamente, as regiões norte e sul do país. Sob estas condições, pode-se afirmar que, em geral, há uma tendência para que as secas ocorram com maior frequência na parte sul do continente do que no norte (Cabrinha *et al.*, 2000). Na 2ª metade do séc. XX, registou-se um conjunto de secas severas que duraram, em média, entre um ano e meio a dois anos, atingindo 40% do território português até à sua totalidade, em alguns casos (Network, 2007).

A selecção do carvalho-negral (*Quercus pyrenaica* Willd.) para este trabalho deve-se ao facto de ser uma importante espécie autóctone de Portugal. Há cerca de 10.000 anos, a floresta de carvalho-negral era dominante em Portugal. No Neolítico (há cerca de 7.000-5.000 anos), com o progressivo sedentarismo do Homem e a prática do pastoreio e da agricultura, a floresta natural foi sendo sucessivamente submetida a muitas alterações. Na idade do Bronze (2.000 anos a.C.), deu-se a destruição de numerosos bosques quando se alastrou a prática das queimadas para pastoreio, de entre os quais os de Trás-os-Montes. Actualmente subsistem, em Portugal, poucas manchas de grande extensão de carvalho-negral, sendo de salientar o maior carvalhal contínuo do país localizado na Serra da Nogueira, em grande parte fruto de importantes medidas de protecção por parte dos Serviços Florestais. Pelas suas características próprias e pela sua ampla distribuição, o carvalho foi durante milénios o suporte da sociedade humana em determinadas regiões, do qual dependeu para múltiplos fins. Ao longo da História, o carvalho teve um papel especial na vida social, económica e espiritual das populações (Carvalho *et al.*, 2007). Os carvalhais são um precioso recurso e o seu valor não pode ser apenas quantificado em termos de metros cúbicos de madeira. Actualmente, procura-se também uma valorização das funções ambientais e ecológicas – caça, conservação da vida selvagem, qualidade da água, recreio, paisagem, entre outros (Carvalho, 2007).

O presente trabalho tem como objectivo estudar **(1)** as relações entre factores climáticos e o crescimento do *Q. pyrenaica* e **(2)** o efeito das secas de maior severidade no crescimento desta espécie. Após constatação dos efeitos da seca, pretende-se avaliar o grau de recuperação posterior das árvores em dois locais distintos. As diferenças no crescimento verificadas entre condições distintas são analisadas e quantificadas através do estudo dos anéis, nomeadamente a largura do anel e respectivas componentes - lenho de início e de lenho de fim de estação. O crescimento é associado ao clima verificado nos respectivos anos de acordo com os registos do Instituto de Meteorologia.

Pelo facto de o crescimento da planta ser afectado por certas condições ambientais que se registam no local, assim se verifica a ligação entre climas passados e a espessura dos anéis de crescimento. Um vasto número de condições ambientais varia ao longo da vida da planta e, às vezes, podem limitar o crescimento e afectar muitas estruturas da planta. As condições limitantes ao crescimento da planta podem ser classificadas como factores internos e externos. Alguns dos factores externos limitantes mais importantes são a água, temperatura, luz, dióxido de carbono, oxigénio e minerais no solo. Relativamente aos factores internos, os mais limitantes referem-se aos minerais, reguladores de crescimento, enzimas e água (Fritts, 1976).

Os anéis de crescimento de uma árvore constituem excelentes registos para a reconstrução do percurso ambiental duma região, inclusive determinar as flutuações do clima numa escala temporal de anos, décadas ou até mesmo de séculos. O crescimento da árvore, e mais especificamente a actividade cambial, é influenciado significativamente pelo clima. Porém, as peculiaridades de cada espécie e alguns factores bióticos e abióticos superam, muitas vezes, os efeitos climáticos (Schweingruber, 1993). Por exemplo, em regiões com elevada precipitação, a sequência da espessura dos anéis de crescimento varia levemente, apesar dos anéis com uma espessura substancial de lenho de fim de estação apresentarem uma variação considerável; em regiões com baixa precipitação, a sequência da espessura dos anéis de crescimento é extremamente variável e é comum a existência de “anos indicadores” (Schweingruber, 1993). De acordo com Hughes (2002), cronologias separadas, em função do lenho de início e de fim de estação, podem contribuir para reconstruções distintas relativamente a uma escala temporal inverno/primavera e à precipitação de verão nas regiões semi-áridas.

Apesar de a dendrocronologia ser, para alguns autores, restrita ao conceito do uso dos anéis de crescimento da árvore para a datação de eventos, as técnicas de dendrocronologia são aplicáveis a um vasto leque de problemas ambientais e climáticos. O prefixo *dendro* é usado em conjugação com o nome específico da área científica - dendroclimatologia refere-se, pois, às investigações dendrocronológicas de climas presentes e passados (Fritts, 1976).

CAP 2. Anéis de crescimento anual das plantas

2.1. Formação de anéis de crescimento anual

Nas regiões temperadas, as árvores têm ao longo do ciclo de crescimento ritmos diferentes com o lenho de início de estação a corresponder ao crescimento da árvore no início do período vegetativo, normalmente na Primavera, época em que as plantas reiniciam a sua actividade vital com toda a intensidade depois de um período de dormência, correspondente ao inverno. As células de início de estação apresentam paredes delgadas, lúmen grande e vistas na secção transversal têm uma forma poligonal e uma coloração clara no seu conjunto. O lenho de Outono, ou de fim de estação, corresponde às células que vão diminuindo a sua actividade vital à medida que se aproxima o fim do período vegetativo, normalmente o Outono, e, consequentemente, as paredes tornam-se mais espessas e os seus lúmenes menores, tornando o conjunto um aspecto mais escuro.

Esta alternância de cores permite distinguir, em secção transversal, o crescimento relativo a cada ano. As sucessivas camadas de crescimento adquirem aspectos de anéis mais ou menos concêntricos tomando, por isso, o nome de anéis de crescimento anual. Nem todas as espécies formam anéis de crescimento e, mesmo naquelas em que a formação de anéis se verifica, nem sempre estes correspondem a um período anual de crescimento arbóreo. Nas regiões temperadas, grande parte das espécies florestais forma anéis de crescimento distintos, apesar de existirem espécies em que a distinção entre o lenho de início e de fim de estação não é tão nítida.

2.2. Caracterização geral da estrutura anatómica do xilema

A conquista do ambiente terrestre pelas plantas tornou-se possível porque nelas se desenvolveu um sistema de distribuição interna de água e nutrientes, ao lado do desenvolvimento de um sistema de absorção da água do solo e de um sistema de revestimento para evitar a perda excessiva de água.

A distribuição de água e nutrientes na planta é feita através do sistema vascular, que é constituído por dois tipos de tecidos relacionados espacialmente: o xilema que conduz água e nutrientes inorgânicos e o floema que conduz os nutrientes orgânicos, principalmente hidratos de carbono em solução (Dickison, 2000). O xilema é um tecido formado principalmente por quatro tipos de células: parênquima, fibras, traqueídeos e vasos lenhosos.

As resinosas e as folhosas apresentam estruturas substancialmente diferenciadas, fruto duma evolução biológica distinta, expressando-se por uma maior simplicidade constitutiva das primeiras e maior especialidade do ponto de vista anatómico e funcional das segundas (Carvalho, 1996).

A estrutura do lenho das resinosas é homoxilada, ou seja, é constituída quase por um tipo de elementos encarregados (cerca de 95% do volume total da madeira) com a dupla função de suporte e transporte no borne – traqueídos verticais. Os traqueídos são células alongadas (de 2 a 5 mm de comprimento), com uma largura a variar entre 10 e 80 μm , com extremidades pontiagudas, cuja parede secundária lenhifica mas não sofre perfurações, ou seja, a parede primária fica contínua. Em geral, os traqueídos possuem pontuações numerosas e as suas paredes podem apresentar espessamentos anelados ou espiralados. A circulação de água nos traqueídos faz-se fundamentalmente através das pontuações areoladas, muito abundantes nas extremidades das células. Para além deste tipo de células, o lenho das resinosas apresenta igualmente células de parênquima e, em alguns casos, canais de resina (canais limitados por células secretoras de resina) dispostos na direcção longitudinal e transversal. As células de parênquima mantêm-se vivas por um longo período de tempo, com funções de reserva e suporte, esta última alcançada pelo forte espessamento lenhificado que as suas paredes frequentemente sofrem. Para além destas funções, estas células também participam no transporte transversal no caule, interligando o xilema e o floema (Moreira, 1983). Os conjuntos de células de parênquima dispostos na direcção radial designam-se por raios lenhosos.

A observação macroscópica da anatomia do lenho das resinosas, nos três planos fundamentais – transversal (Figura 1A), radial (Figura 1B) e tangencial (Figura 1C) - permite identificar os anéis (ou camadas) de crescimento, traqueídos, canais de resina, raios lenhosos e, eventualmente, elementos parenquimatosos no plano transversal (Carvalho, 1996). Os anéis de crescimento das resinosas são nítidos, com uma diferenciação dos lenhos de início e fim de estação e a sua transição gradual.

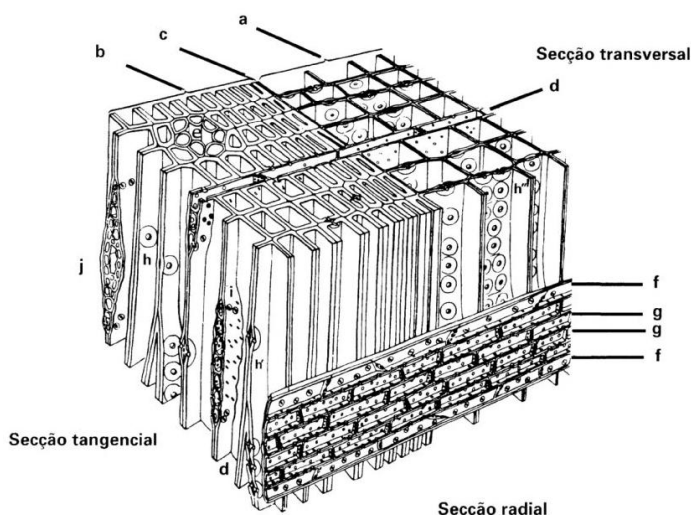


Figura 1. Estrutura da madeira das resinosas nos planos transversal, radial e plano tangencial

- a. Lenho inicial
- b. Lenho final
- c. Limite de camadas de crescimento
- d. Células epiteliais resinosas
- e. Canal de resina vertical
- f. Traqueídeos radiais
- g. Células de parênquima
- h. Pontuação areolada
- i. Pontuações de campo de cruzamento
- j. Raio lenhoso fusiforme com canal de resina horizontal

A estrutura do lenho das folhosas é heteroxilada, ou seja, é constituída por dois elementos fundamentais - vasos e fibras. As fibras são células de esclerênquima alongadas e pontiagudas, com parede secundária mais ou menos espessa, com função essencialmente de suporte e que podem ser encontradas em várias partes da planta. Na maioria dos casos, na fase de maturidade da planta, as fibras são células mortas, apesar de existirem, em determinadas espécies, elementos fibrosos vivos na madeira. Diferentes tipos de fibras parecem um pouco idênticos, pelo que a sua classificação é feita de acordo com a sua posição na planta (por exemplo, fibras do floema e fibras do xilema (ou fibras de madeira)) (Dickison, 2000). Os vasos lenhosos são constituídos por células alongadas longitudinalmente e de parede espessa lenhificada, em que as células de topo sofrem perfurações. Estas células perfuradas – elementos ou membros vasculares – agregados em fiadas longitudinais formam autênticos tubos, ligando as raízes aos órgãos aéreos, garantindo assim a função de transporte de água e sais minerais (Moreira, 1983).

Os raios lenhosos, quase exclusivamente constituídos por células de parênquima, são, frequentemente, muito maiores quando comparados com os raios das resinosas.

A observação macroscópica, nos três planos fundamentais – transversal (Figura 2A), radial (Figura 2B) e tangencial (Figura 2C) - permite identificar os anéis (ou camadas) de crescimento, vasos, fibras, raios lenhosos e parênquima.

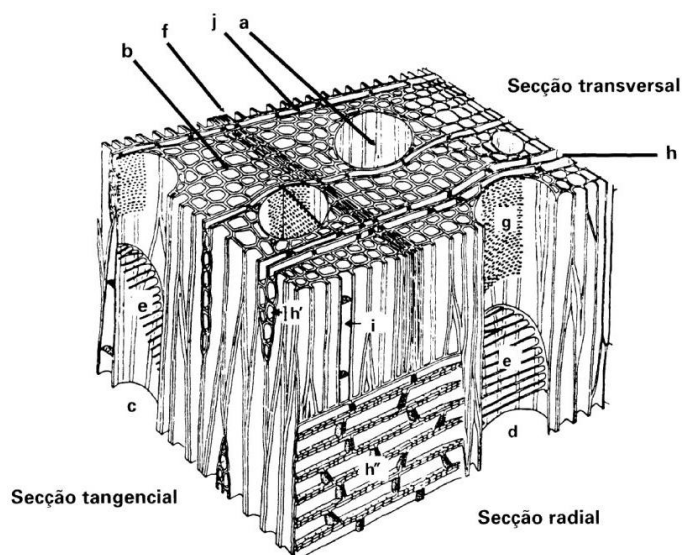


Figura 2. Estrutura da madeira das folhosas nos planos transversal, radial e plano tangencial

- a. Vaso (seção transversal = poro)
- b. Fibra
- c. Segmento vascular (seção tangencial)
- d. Segmento vascular (seção radial)
- e. Perfuração escalariforme
- f. Limite de camadas de crescimento
- g. Pontuações rádio-vasculares
- h. Raio lenhoso bisseriado (seção transversal)
- i. Parênquima axial
- j. Raio lenhoso unisseriado (seção transversal)

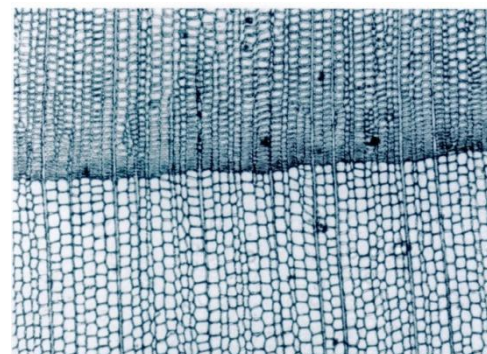
Os vasos lenhosos quando vistos na secção transversal, aparecem sob a forma de orifícios com um formato circular a elíptico - *poros*. Diversas características dos vasos podem ser úteis para a identificação de madeiras, de entre as quais se destaca a porosidade, ou seja, o modo como se dispersam na secção transversal (IAWA, 1989):

- ✓ **Porosidade difusa** – os vasos têm, mais ou menos, o mesmo diâmetro ao longo de todo o anel;
- ✓ **Porosidade em semi-anel** – os vasos do lenho de início de estação são claramente maiores que os vasos do lenho de fim de estação do anel de crescimento do ano anterior, havendo uma alteração gradual para vasos de menor dimensão até ao lenho de fim de estação do anel de crescimento do próprio ano;
- ✓ **Porosidade em anel** – os vasos do lenho de início de estação são claramente maiores que os vasos do lenho de fim de estação referentes aos anéis de crescimento do ano anterior e do próprio ano, e forma uma zona bem definida na qual existe uma transição abrupta com o lenho de fim de estação do anel de crescimento do próprio ano.

2.3. Características anatómicas das espécies estudadas

2.3.1. *Abies alba* Mill.

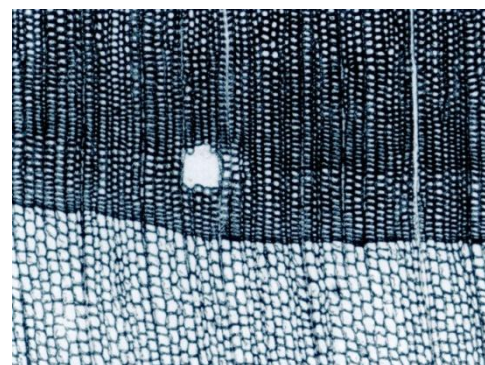
- ✓ Camadas de crescimento distintas
- ✓ Zona de Outono pouco distinta, em geral com menos de 10 fiadas tangenciais de células
- ✓ Transição gradual da zona de Primavera para a de Outono
- ✓ Parênquima indistinto
- ✓ Raios finos, muito poucos distintos à vista desarmada e indistintos na superfície tangencial
- ✓ Canais de resina ausentes



Fonte: Esteban, et al. 2003

2.3.2. *Pinus sylvestris* L.

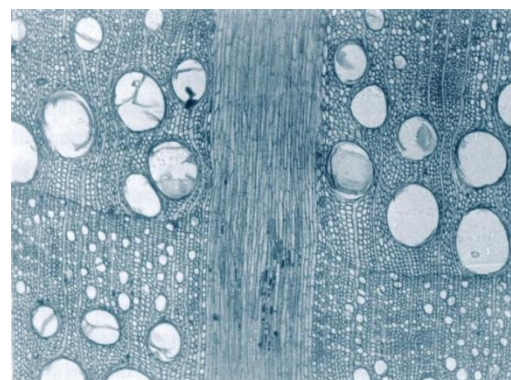
- ✓ Camadas de crescimento muito distintas
- ✓ Zona de Outono bem distinta, em geral com mais de 10 fiadas tangenciais de células, relativamente espessa
- ✓ Transição brusca da zona de Primavera para a de Outono, mais suave nas camadas largas
- ✓ Parênquima indistinto
- ✓ Raios finos, poucos distintos à vista desarmada a não ser quando fusiformes, contendo um canal de resina
- ✓ Canais de resina presentes, longitudinal e transversalmente



Fonte: Esteban, et al. 2003

2.3.3. *Quercus pyrenaica* Willd.

- ✓ Camadas de crescimento perfeitamente distintas pela variação brusca do diâmetro dos poros
- ✓ Zonas de Primavera e de Outono bem destacadas
- ✓ Porosidade em anel – zona de Primavera constituída por uma estreita camada de 2-3 poros, mais frequentemente 3, muito grandes, desiguais e alternados. Poros na zona de Outono bastante pequenos, indistintos à vista desarmada
- ✓ Parênquima distinto, abundante, adensando para o fim da camada de crescimento
- ✓ Raios de dois tipos: unisseriados e multisseriados



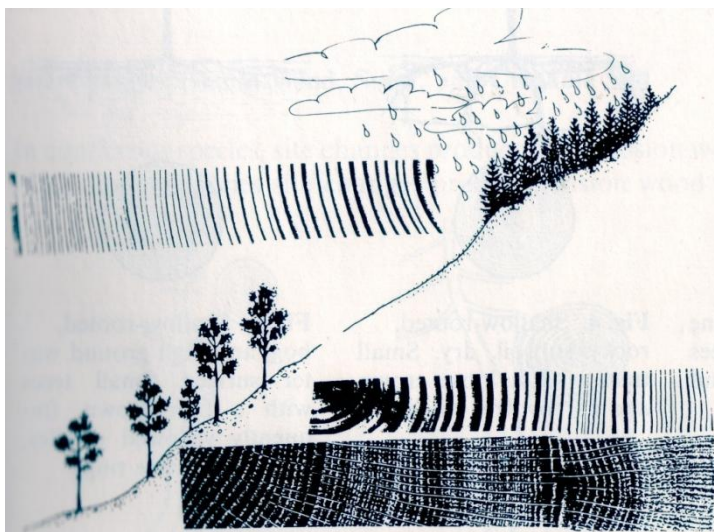
Fonte: Esteban, et al. 2003

2.4. Factores ambientais que afectam a formação e características dos anéis de crescimento

O crescimento duma árvore, e mais especificamente, a actividade cambial são significativamente influenciados pelo clima. Para além da peculiaridade de cada espécie, a limitação ao crescimento imposta por factores bióticos e abióticos ultrapassa, muitas vezes, o efeito do clima (Schweingruber, 1993). De seguida, apresenta-se a título de exemplo, o efeito causado na secção transversal do tronco das árvores, associado naturalmente aos anéis de crescimento, pelo clima, solo, luz e vento.

1.

Em regiões com elevada precipitação, a sequência dos anéis de crescimento varia apenas ligeiramente. Em regiões com reduzida precipitação, a sequência dos anéis de crescimento é extremamente variável em resposta às variações de ano para ano na precipitação (Figura 3).

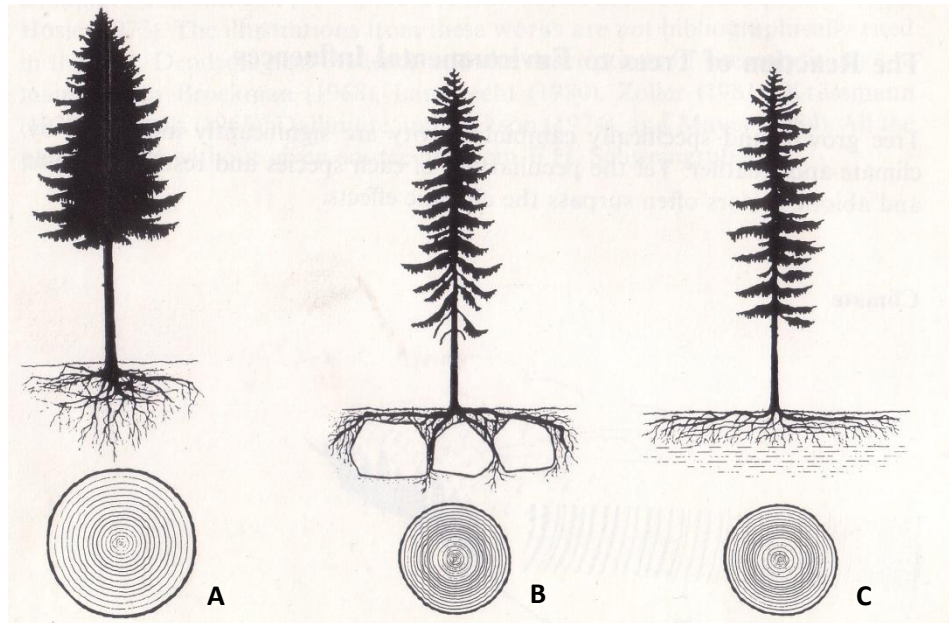


Fonte: Schweingruber, 1983

Figura 3. Reacções da árvore à precipitação

2. Solo

A drenagem, profundidade e o fornecimento de nutrientes do solo determinam consideravelmente a taxa de crescimento das árvores (Figura 4).

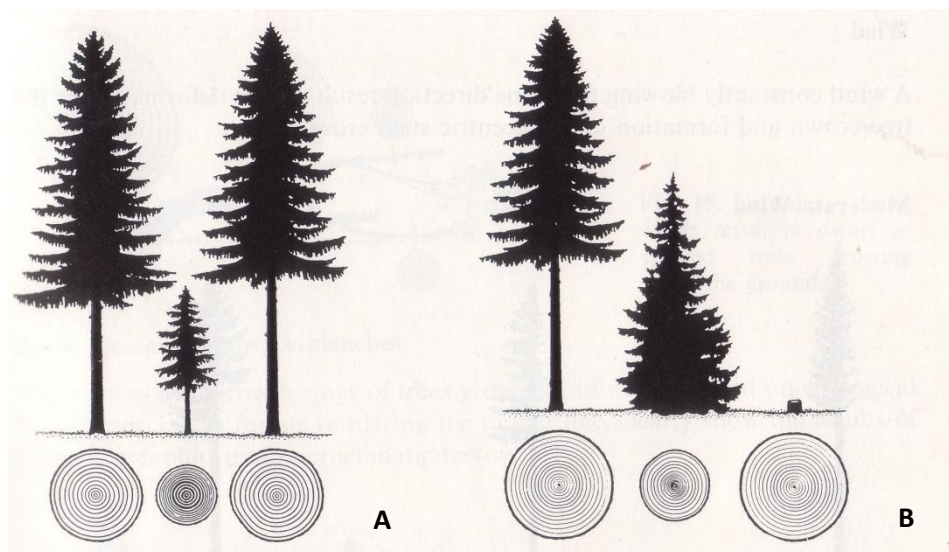


Fonte: Schweingruber, 1983

Figura 4. Reacções da árvore ao tipo de solo **[A]** raízes profundas, subsolo fino e húmido; árvores grandes com copa compacta e anéis de crescimento largos **[B]** raízes superficiais, subsolo rochoso e seco; árvores pequenas com copas descaídas e anéis de crescimento estreitos **[C]** raízes superficiais, lamaçal com lençol freático elevado; árvores pequenas com copas estreitas, frequentemente com agulhas amareladas e anéis de crescimento estreitos

3. Luz

O crescimento das árvores responde claramente às rápidas alterações de disponibilidade de luz provocadas, por exemplo, pelo fogo, tempestade ou gestão florestal (desbastes) (Figura 5).

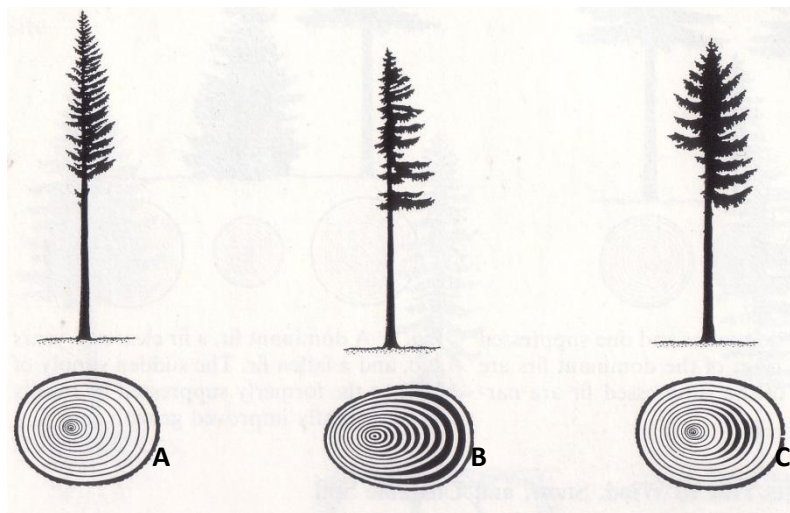


Fonte: Schweingruber, 1983

Figura 5. Reacções da árvore à luz **[A]** Duas árvores dominantes (anéis de crescimento largos) e uma dominada (anéis de crescimento estreitos) **[B]** Uma árvore dominante (anéis de crescimento largos) e uma árvore com um desbaste à cinco anos; a rápida disponibilidade de luz na árvore dominada resulta numa rápida taxa de crescimento, com a formação de anéis mais largos

4. Vento

O vento a soprar constantemente de uma direcção resulta na deformação da copa das árvores e na formação descentrada da secção transversal do tronco (Figura 6).



Página | 11

Figura 6. Reacções da árvore ao vento [A] vento muito leve a soprar num dos lados da árvore, com o vento a soprar apenas contra uma pequena área da árvore; medula excêntrica mas sem sinal de lenho de reacção [B] a árvore não apresenta ramos de um dos lados por causa do vento forte, resultando numa medula excêntrica e a formação de lenho de reacção [C] copa de árvore e secção transversal do tronco sujeita a ventos de diferentes intensidades

Fonte: Schweingruber, 1983

Um factor climático pode afectar tanto as características estruturais, como apenas a espessura dos anéis, assim como limitar as taxas dos processos fisiológicos que, por sua vez, influenciam o crescimento da planta. Por exemplo, durante a Primavera, o crescimento da planta pode começar mais cedo num ano quente do que num ano mais frio, uma vez que as baixas temperaturas são o factor mais limitante no processo inicial de crescimento. Neste caso, a temperatura estaria directamente correlacionada com a espessura do anel de crescimento. Mais tarde, no período de crescimento, quando as temperaturas são maiores, o tempo mais quente poderá ser mais limitante uma vez que poderá limitar a produção de enzimas e hormonas que são necessárias para que determinados processos ocorram, assim como acentuam a perda de água nos tecidos num período em que a água já é escassa. Neste caso, a temperatura nesta altura do ano estará inversamente correlacionada com a espessura dos anéis de crescimento. Durante o período de dormência no Inverno, as temperaturas abaixo de zero podem prevalecer e esta variação de temperatura pode não afectar qualquer processo fisiológico em particular, pelo que as variações de temperatura não estão correlacionadas com

a espessura do anel. No entanto, caso a temperatura seja mais elevada no Inverno, poderá verificar-se um descongelamento dos tecidos e um aumento da actividade fisiológica. Em tal situação, poderão ocorrer alterações bioquímicas, afectando consequentemente o crescimento e assim levar a uma correlação entre as temperaturas de Inverno e a espessura dos anéis de crescimento (Fritts, 1976).

CAP 3. Dendrocronologia

3.1. Conceito

A dendrocronologia - do grego *dendron* (árvore), *kronos* (tempo) e *logos* (estudo) - é, em sentido lato, a ciência que data os anéis anuais de crescimento das árvores. Dito de outra forma, é um conjunto de métodos que tem como objectivo a identificação dos anéis de crescimento anual das árvores e a alocação de cada um, de forma precisa e inequívoca, a um ano concreto no calendário gregoriano, em que o último ano corresponde ao ano de recolha da amostra. A dendrocronologia baseia-se no princípio de que os anéis das árvores formados sob condições semelhantes (no mesmo local e em lugares próximos) devem apresentar características comuns. Ou seja, observar-se-á entre essas árvores uma sincronia nos anéis formados ao longo das suas vidas (Fritts, 1976). A dendrocronologia representa um método de datação absoluta, com um elevado nível de exactidão – para além de fornecer datas em anos de calendário directos, permite, por exemplo, datar artefactos arqueológicos em madeira com erros que podem ir dos três anos a seis meses (Gonçalves, 2007).

A sensibilidade das árvores ao meio ambiente permite que alterações de temperatura, precipitação, radiações solares, entre outros, fiquem “registados” nos anéis de crescimento. As árvores podem ser, dependendo da espécie, extremamente sensíveis a factores climáticos e ambientais. O registo destes elementos nos anéis de crescimento é indiscutível e manifesta uma série de dados que é utilizado para diversos fins. Os anéis de crescimento das árvores constituem, deste modo, arquivos naturais de informação ambiental.

A contribuição que a dendrocronologia tem dado ao campo da climatologia, nos últimos anos, vem sendo reconhecida por parte dos climatologistas. Os pontos fortes e fracos associados ao facto de os anéis de crescimento das árvores serem vistos como arquivos naturais de variabilidade climática, têm sido muito discutidos e foram revistos por Hughes (2002). De acordo com este autor, os principais pontos fortes passam pela capacidade de datar os anéis de crescimento das árvores ao calendário gregoriano com um grau muito elevado de confiança; a existência de grandes padrões, à escala geográfica, de uma variação comum dos anéis de crescimento das árvores ano-a-ano; a existência de várias bases de dados de cronologias de variadíssimas espécies (a título de exemplo, *The International Tree-Ring Data Bank* - <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html> e *European Catalog of Tree-Ring Chronologies* - <http://www.dendro.bf.uni-lj.si/first.html>); a surpreendente eficácia de muitos modelos lineares de correlação entre os anéis de crescimento e o clima; o crescente entendimento sobre os mecanismos responsáveis pela variabilidade das características dos

anéis de árvores. Relativamente às limitações, passam pelo facto de as cronologias capturarem somente uma fracção da variabilidade climática; algumas cronologias não responderem directamente a uma variável climática mensal ou mesmo sazonal; as árvores poderem não registar as variáveis climáticas com interesse para os climatologistas; a utilização das cronologias para reconstruir o clima do passado basear-se na suposição de que os mesmos factores, agindo da mesma forma, controlaram a formação dos anéis de crescimento no passado como no século XX; em muitos casos, as técnicas usadas para remover a variabilidade não-climática (como a causada pela tendência natural da idade da árvores e as interações com as árvores vizinhas, por exemplo) limitarem a representação fiel das variações climáticas numa escala temporal maior.

3.2. Breve descrição histórica

Apesar das suas bases teóricas remontarem ao séc. XVI com Leonardo da Vinci, o desenvolvimento da dendrocronologia e dos métodos dendrocronológicos, tal como os conhecemos hoje, é atribuído ao astrónomo norte-americano Andrew Ellicott Douglass (1867-1962). Nas primeiras décadas do séc. XX, no Sul dos Estados Unidos da América, Douglass, enquanto procurava uma maneira de obter registos climáticos para poder estudar a relação entre as manchas solares e o clima da Terra ao longo do tempo, observou como as mudanças climáticas influenciavam a largura dos anéis das árvores. Durante as suas viagens pelas florestas do Norte do Arizona, Douglass começou a desenvolver a hipótese segundo a qual, nesta região semi-árida, o crescimento das árvores estaria determinado principalmente pela disponibilidade de água, ficando para segundo plano factores como a luz ou a competição entre indivíduos, pelo que aos anéis de crescimento mais estreitos corresponderiam anos secos.

Em 1914, Douglass conseguiu construir uma cronologia de quase 500 anos a partir de anéis de *Pinus ponderosa* Douglas ex Lawson et C. Lawson, demonstrando, através dos registos climáticos disponíveis, que a largura dos anéis estava directamente relacionada com a precipitação do inverno anterior.

Na Europa, as aplicações da dendrocronologia iniciaram-se de forma séria e continuada nos anos 30 do séc. XX. O método desenvolvido por Douglass começou a ser usado na Alemanha como uma aplicação para resolver o problema das datações medievais com o carvalho roble (*Quercus robur*). Uma diferença notável com os E.U.A. é o tipo de espécies utilizadas e a sua diferente sensibilidade devido ao clima temperado europeu. As espécies de referência na

Europa são os carvalhos, usados desde a pré-história na construção de aplicações diversas e artísticas. A resposta diferencial do carvalho a factores climáticos levou a uma série de adaptações no método de Douglass: enquanto o clima árido do Sul dos Estados Unidos provocou nas árvores reacções extremas que se manifestavam nas dimensões de um único anel (num determinado ano), o clima europeu (mais temperado) produzia variações que seriam observadas na tendência de um conjunto de anéis.

A evolução da dendrocronologia tem permitido abrir novas áreas de investigação. O registo ambiental presente nos anéis de crescimento anual das árvores, ao ser decodificado, tem revelado a presença de elementos que correspondem a eventos diversos. De destacar algumas das áreas, ou ramos de investigação, actualmente aplicados nos estudos dendrocronológicos:

- ✓ Dendroarqueologia – estuda a sequência de anéis presentes em artefactos arqueológicos e estruturas de habitação para construir uma cronologia que permita datar o contexto arqueológico.
- ✓ Dendroecologia - estuda e data os elementos presentes nos anéis de crescimento anual das árvores para reconstruir factores ecológicos típicos de habitats, nomeadamente a concorrência, surtos de insectos, poluição do ar e das águas, declínio da floresta, de entre outros fenómenos.
- ✓ Dendrogeomorfologia - estuda as mudanças na superfície da Terra ao longo do tempo através da análise dos anéis de crescimento anual das árvores.
- ✓ Dendroglaciologia - estuda e data os movimentos glaciares através do estudo dos anéis de crescimento das árvores, para assim obter uma sequência cronológica dos mesmos e a correspondente abrangência espacial do evento em causa.
- ✓ Dendrohidrologia – estuda e data as alterações no curso dos rios, nascentes de água e níveis de lagos e lagoas, assim como a subida dos níveis do mar através do estudo dos anéis de crescimento das árvores.
- ✓ Dendropirocronologia - estuda e data as marcas deixadas pelos incêndios florestais, as queimadas e os eventos piroclásticos, através do estudo dos anéis de crescimento das árvores, para assim obter uma sequência cronológica dos mesmos e a correspondente abrangência espacial do evento em causa.

3.3. Princípios básicos da dendrocronologia

A dendrocronologia é regida por um conjunto de princípios ou "regras científicas", sobre os quais qualquer investigação neste âmbito se deve basear, correndo-se o risco de não se obterem dados fiáveis no caso de se não se fazer cumprir algum(ns) do(s) princípio(s) (Fritts, 1976).

- **PRINCÍPIO DA UNIFORMIDADE**

Os processos físicos e biológicos que, na actualidade, afectam os padrões de crescimento das árvores, do ponto de vista dos anéis de crescimento, foram também registados pelas árvores no passado.

- **PRINCÍPIO DOS FACTORES LIMITANTES**

O crescimento dos anéis numa árvore é limitado pela variável ambiental mais limitante. Por exemplo, a precipitação é, muitas vezes, o factor mais limitante para o crescimento das plantas em regiões áridas e semi-áridas. Nestas regiões, o crescimento da árvore não pode avançar mais rapidamente do que o permitido pela quantidade de precipitação, fazendo com que a largura dos anéis (ou seja, o volume de madeira produzida) seja uma função da precipitação. Por outro lado, nas latitudes mais elevadas, a temperatura é muitas vezes o factor mais limitante que afecta as taxas de crescimento das árvores. Além disso, o factor mais limitante é, muitas vezes, influenciado por factores não-climáticos - embora a precipitação possa ser limitante em regiões semi-áridas, os efeitos da baixa precipitação podem ser agravados por uma boa drenagem dos solos (por exemplo, solos arenosos).

- **PRINCÍPIO DO CRESCIMENTO AGREGADO DA ÁRVORE**

A origem da variação encontrada em qualquer série individual de anéis de crescimento de uma árvore pode ser "decomposta" por um conjunto de factores ambientais, humanos e naturais, que afectaram o padrão de crescimento da árvore ao longo do tempo.

- **PRINCÍPIO DA AMPLITUDE ECOLÓGICA**

A amplitude ecológica refere-se à gama de habitats em que uma espécie consegue crescer e reproduzir-se. As espécies são mais sensíveis a alterações climáticas (temperatura e precipitação) nos limites de latitude e altitude da sua área de habitat.

- **PRINCÍPIO DA SELECÇÃO DO LOCAL**

Este princípio estabelece que os locais mais favoráveis para a dendrocronologia, podem ser identificados e seleccionados com base em critérios que produzirão séries de anéis de crescimento sensíveis à variável ambiental em estudo. Por exemplo, árvores que são especialmente sensíveis às condições de seca podem geralmente ser encontradas onde as

chuvas são limitantes. Assim, um estudo dendrocronológico sobre as condições de seca passará pela amostragem em árvores de locais onde, *a priori*, se sabe que a disponibilidade hídrica é limitada.

- **PRINCÍPIO DA DATAÇÃO CRUZADA (*CROSSDATING*)**

Este é o princípio fundamental da dendrocronologia. A correspondência de padrões da largura dos anéis ou outras características do anel (por ex., padrões de densidade) entre diversas séries de anéis permite a identificação do ano exacto em que cada anel da árvore foi formado.

- **PRINCÍPIO DA REPLICAÇÃO**

O sinal do factor ambiental a ser investigado pode ser maximizado e a quantidade de "ruído" minimizado, através de uma amostragem alargada, com mais de um raio de tronco por árvore, e mais de uma árvore por local. A obtenção de mais de uma verrumada por árvore reduz a *variabilidade intra-árvore*. A obtenção de várias árvores de um local e, talvez, vários locais numa região, garante que a quantidade de "ruído" (factores ambientais que não estão a ser estudados, por ex. a poluição do ar) é minimizada.

CAP 4. Efeitos do clima sobre os anéis de crescimento das espécies em estudo

4.1. Caracterização edafo-climática da área de estudo

A Serra da Nogueira, local de amostragem do presente estudo, é a undécima maior elevação de Portugal Continental, com 1318 metros de altitude, situando-se na província de Trás-os-Montes e Alto Douro, na região Alto Trás-os-Montes, dividida entre os distritos de Bragança e de Vila Real. A área de estudo do presente trabalho encontra-se na Terra Fria Transmontana (Figura 7), inserida na Região Natural de Bragança, sub-região B1 (*sub-região montanhosa*) que engloba igualmente as Serras de Montesinho e da Coroa (A.M.T.F.N.T., 2006).

A Terra Fria Transmontana é uma região marcada por prados permanentes (lameiros), grandes extensões de carvalho negral, soutos de castanheiros, searas de trigo e centeio e uma agricultura de subsistência, devido ao rigoroso clima de verões quentes e secos e invernos frios e chuvosos. O relevo da Terra Fria é sobretudo caracterizado pela dominância de planaltos extensos, sulcados por vales de meandros profundamente entalhados nos xistos, transformando-se as superfícies altas em cabeços, separados por uma rede hidrográfica muito densa.

Na Região Natural de Bragança, o carvalho negral faz parte da vegetação climática e tem uma presença dominante (uma ocupação superior a 50% nas manchas marcadas) na Serra da Nogueira, em outras serranias e encostas íngremes dos vales. Para além do carvalho, como autóctone, assumem relevância as manchas de resinosas, predominantemente pinheiro com uma ocupação superior a 50%. A Serra da Nogueira regista cotas entre os 1000 e 1400 m, com declives elevados sobretudo na vertente nascente (A.M.T.F.N.T., 2006).

De acordo com a classificação de Koppen (Figura 7), e tendo por base a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura e precipitação, o clima de Portugal Continental é classificado como mesotérmico, ou seja regista uma temperatura média do mês mais frio entre -3°C e 18°C (Miranda, 2001), com duas regiões distintas - *clima mediterrâneo* (Csa) e *clima temperado mediterrâneo* (Csb) (INM, 2008). O clima mediterrâneo é caracterizado por ter estações de Inverno e Verão bem definidas, Inverno suave e chuvoso, Verão seco e quente e temperatura média do ar no mês mais quente superior a 22°C. O clima temperado mediterrâneo, por seu lado, tem igualmente estações de Inverno e Verão bem

definidas, Inverno suave e chuvoso mas com um Verão seco e pouco quente e uma temperatura média do ar do mês mais quente inferior a 22°C. Para ambos os climas, existem, pelo menos, quatro meses com temperatura média acima de 10°C (Miranda, 2001). Apesar da variação dos factores climáticos ser pequena, é suficiente para explicar variações significativas nos elementos que são mais característicos do clima (ou seja, a temperatura e a quantidade de precipitação) (Cabrinha *et al.*, 2000).

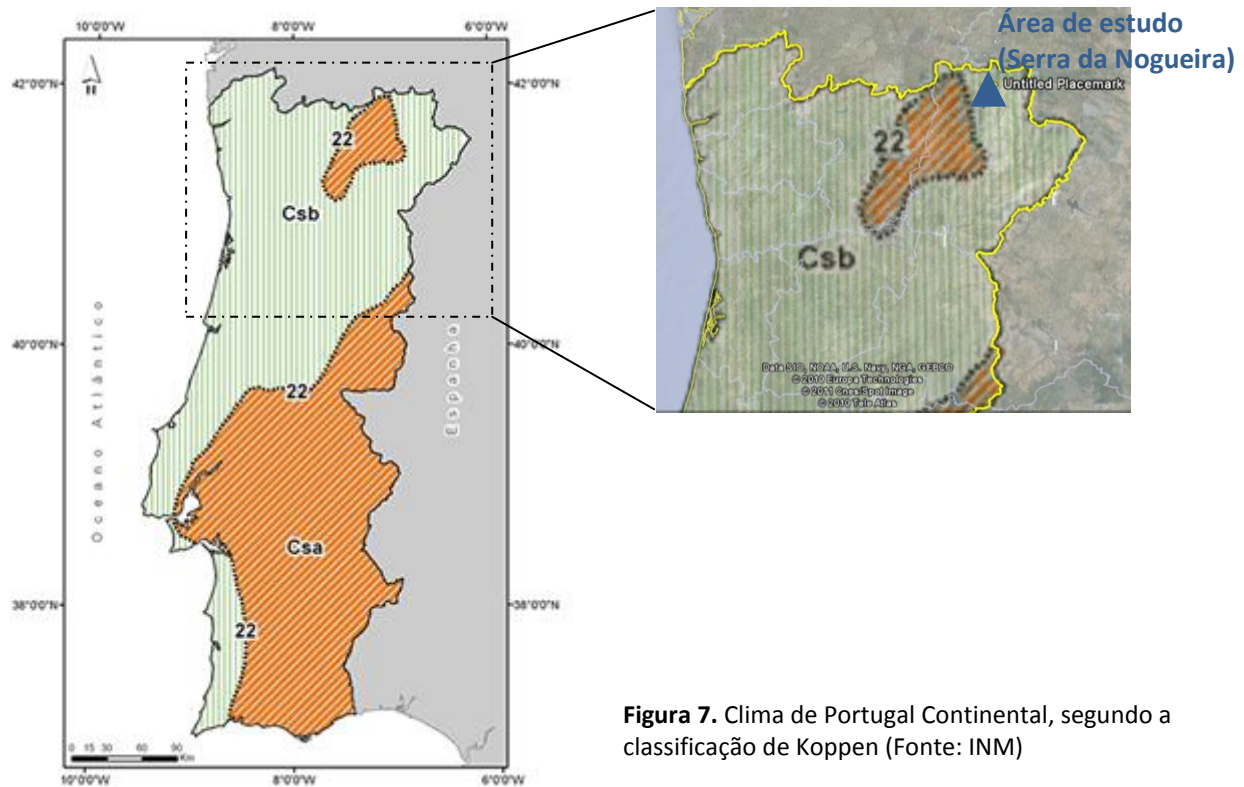


Figura 7. Clima de Portugal Continental, segundo a classificação de Koppen (Fonte: INM)

Para a caracterização climática da área de estudo optou-se pelos dados climáticos da Estação Meteorológica de Bragança dada a menor distância dos locais de amostragem comparativamente com a Estação Meteorológica de Miranda do Douro. Dada a existência de dois postos udométricos mais perto dos locais de amostragem, entrou-se em linha de conta com os dados da precipitação no estudo das correlações entre o clima e a espessura dos anéis de crescimento.

A zona de Bragança apresenta uma precipitação média anual de 771 mm, concentrando 75% da precipitação total anual no período chuvoso, que decorre em média, de Outubro a Abril. Durante estes meses o número médio de dias de chuva por mês é de 13. Tal como acontece em todo o país, na região existe um desfasamento entre o regime térmico e o regime pluviométrico, ou seja, os meses mais quentes, Junho, Julho e Agosto, são os que apresentam

menores precipitações (Figura 8). Verificam-se menores quantitativos de precipitação no auge da estação seca, no Verão, e ocorrência de um máximo de precipitação no Inverno, coincidente com os meses de menores temperaturas.

A variação de temperatura média do ar ao longo dos meses é relativamente alta, verificando-se um máximo em Julho e Agosto (21,6 °C para ambos os meses) e um mínimo em Janeiro (4,7 °C) e Dezembro (5,6 °C).

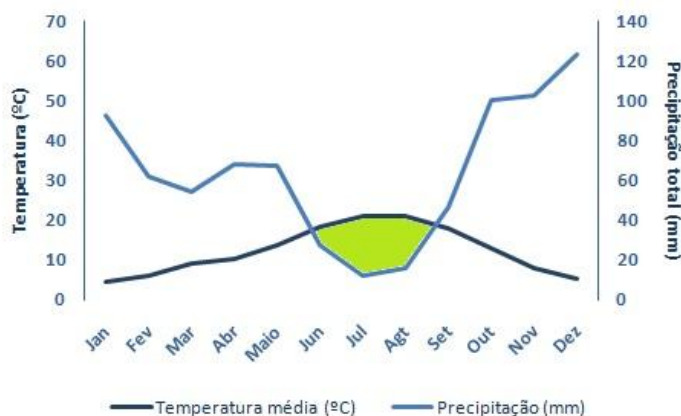


Figura 8. Diagrama ombrotérmicos da região de Bragança para a série de 30 anos (1980 – 2010)

O número de dias de geada é elevado por toda a Terra Fria, sendo superior na zona central mais elevada (com mais de 80 dias por ano), situando-se, nas áreas planálticas, entre os 60 e os 80 dias. Nos vales dos principais rios da zona, não se ultrapassam os 60 dias de geada por ano. A data média de ocorrência da primeira geada de Outono é, em quase todo o território, anterior aos 20 primeiros dias de Outubro, e a última geada de Primavera posterior aos primeiros dez dias de Maio, ou seja, trata-se de um período de geadas muito prolongado (A.M.T.F.N.T., 2006).

Os solos da área de estudo são classificados como *Leptossolos* (Coba, 1991), ou seja, são solos incipientes, delgados (do grego *leptos*, delgado) e limitados em profundidade por rocha dura contínua e coerente ou material muito calcário ou uma camada contínua cimentada a 50 cm da superfície. Poderão igualmente ser solos de material não consolidado muito pedregoso tendo menos de 20% de terra fina até uma profundidade de 125 cm, sem horizontes de diagnóstico além de um horizonte A mólico, úmbrico ou ócrico, com ou sem um horizonte B câmbico; sem propriedades hidromórficas a menos de 50 cm da superfície; sem propriedades sálicas (Aguar, 2000).

Nas áreas planálticas, sobretudo nas superfícies côncavas ou na base de declives suaves, os leptossolos estão misturados com solos mais profundos já com um horizonte câmbico -

cambissolos úmbricos. Nas cotas mais baixas, estes solos são substituídos por solos mais pobres em matéria orgânica - leptossolos dístricos e cambissolos dístricos. Nas encostas mais declivosas os leptossolos, úmbricos ou dístricos, alternam com solos esqueléticos – os leptossolos líticos. A dominância dos leptossolos deve-se, não só ao relevo movimentado, como também à erosão acelerada de origem antrópica de solos mais evoluídos, particularmente dos cambissolos. Nos relevos mais escarpados, dos vales mais encaixados e sob relevos convexos com substratos rochosos particularmente duros e resistentes à meteorização, os leptossolos têm uma origem não antrópica (Aguar, 2000).

4.2. Material

As espécies florestais seleccionadas na Serra da Nogueira para o presente estudo no âmbito de dendroclimatologia foram o *Quercus pyrenaica* Willd. (carvalho-negral, carvalho-pardo-das-beiras, carvalho-pardo-do-minho), *Pinus sylvestris* L. (pinheiro-silvestre, pinheiro-de-casquinha, pinheiro de Riga) e *Abies alba* Miller (abeto-branco), tendo sido estas últimas escolhidas por serem as únicas coníferas presentes no local de estudo e possíveis de serem utilizadas para termos comparativos relativamente ao *Q. pyrenaica*.

Os povoamentos de *Quercus pyrenaica* da área de estudo são mistos e irregulares, resultantes de regeneração natural, com um sub-coberto arbustivo muito denso (Figura 9). Foram amostradas duas encostas com exposições solares distintas que passarão a ser designadas por vertente norte (exposição nordeste) e vertente sul (exposição sudoeste).



Figura 9. Povoamento de *Quercus pyrenaica* na Serra da Nogueira

No Quadro 1 apresenta-se um resumo das características físicas relativamente às duas encostas e as respectivas espécies florestais presentes.

Quadro 1. Caracterização física dos locais de amostragem

EXPOSIÇÃO	ESPÉCIES FLORESTAIS PRESENTES	ALTITUDE	DECLIVE
Nordeste	<i>Quercus pyrenaica</i>	1060 m	10%
	<i>Abies alba</i>		
	<i>Pseutosuga menziessi</i>		
Sudoeste	<i>Quercus pyrenaica</i>	1000 m	15%
	<i>Pinus sylvestris</i>		
	<i>Pseutosuga menziessi</i>		

O carvalho-negral (nome científico *Quercus pyrenaica* Willd., da Família Fagaceae e Género Quercus) é uma árvore de folha caduca, com um porte médio podendo ultrapassar 20 m de altura. O tronco é recto, revestido por casca espessa, castanha-acinzentada e fendida. É frequente encontrar indivíduos com um porte arbustivo devido aos numerosos cortes. A copa é ampla e arredondada, ou ovóide; quando novo, tem as pernas ascendentes e patentes em adulto; os raminhos são densamente tomentosos e aveludados, com ramificações e folhagem abundantes e densas.

As florestas de carvalho-negral são, do ponto de vista biogeográfico, de cariz atlântico a mediterrânico-continental, ocupando uma posição intermédia entre os territórios dos bosques caducifólios atlânticos centro-europeus e as formações mediterrânicas xerofílicas do Sul da Península Ibérica. A altitude mais propícia para esta espécie situa-se entre os 700 m e os 1200 m (Carvalho *et al.*, 2007).

O pinheiro silvestre (nome científico *Pinus sylvestris* L., da Família Pinaceae e Género Pinus) apresenta um tamanho moderado, atingindo 25-35 m (ocasionalmente até 50 m), com um tronco direito e cilíndrico, podendo atingir 3,5 m de diâmetro. A casca é fissurada em placas longitudinais irregulares, castanho-avermelhado ou castanho-acinzentado na base do tronco, esfoliando para cima em escamas finas vermelho-claras e alaranjadas. Nas árvores jovens, os ramos são, em geral, regularmente verticilados mas nas árvores mais velhas a ramificação ocorre na parte superior, originando uma copa achatada (Humphries *et al.*, 2005).

Esta é a conífera mais difundida no mundo, encontrando-se na Europa, Escócia e Espanha para o oriente e entre o norte do continente asiático até à costa do Pacífico (Earle, 1997). Em Portugal, surge espontaneamente nos pontos elevados e pouco explorados da Serra do Gerês e tem sido utilizado na arborização dos baldios serranos (Humphries *et al.*, 2005).

O abeto-branco (nome científico *Abies alba* Miller, da Família Pinaceae e Género Abies) é uma árvore piramidal podendo atingir até 50 m de altura com tronco muito apurado. A casca é castanha-acinzentada, macia, fissurada e formando escamas (Humphries *et al.*, 2005). Inicialmente a copa é cónica, tornando-se cilíndrica ao longo dos anos, com ramificações horizontais dispostas em verticilos com ramos ligeiramente pubescentes.

É uma espécie que se dá em solos calcários e siliciosos, preferindo locais com elevado grau de humidade atmosférica e edáfica. O abeto branco suporta o frio invernal mas não tolera as geadas. A sua zona de distribuição situa-se nas montanhas da Europa Central e Meridional.

4.3. Metodologia

4.3.1. Amostragem

As amostragens do *Q. pyrenaica*, *P. sylvestris* e *A. alba* foram realizadas em Junho de 2009 (Quadro 2).

Quadro 2. Características da amostragem do *Quercus pyrenaica*, *Pinus sylvestris* e *Abies alba*

COORDENADAS DO LOCAL	EXPOSIÇÃO	CÓDIGO	ESPÉCIES AMOSTRADAS	ÁRVORES AMOSTRADAS
41º 45' 30,896"N 6º 52' 5,194"W	Vertente Norte da encosta	SNNQP	<i>Quercus pyrenaica</i>	15
		SNNAA	<i>Abies alba</i>	10
41º 45' 14,067"N 6º 52' 03,234"W	Vertente Sul da encosta	SNSQP	<i>Quercus pyrenaica</i>	15
		SNSPS	<i>Pinus sylvestris</i>	15

De cada árvore foram retiradas duas verrumadas (Figura 10), com orientações opostas, com recurso a verrumas SUUNTO de 5,5 mm de diâmetro de núcleo, tipo 2N (Figura 11). A extracção da amostra da árvore deve ser realizada perpendicularmente ao tronco de modo a que se obtenha uma representação de todos os anéis de crescimento formados desde a casca até à medula, inclusive. Em estudos dendrocronológicos devem ser evitadas as amostragens na árvore nas vizinhanças de uma lesão e do lenho de reacção (Pilcher *et al.*, 1990). Habitualmente a extracção deve ser realizada a 1,30 m de altura, excepto nos casos em que, por deformações e defeitos do tronco ou a existência de ramos baixos, tal não seja possível, devendo-se, então, optar por retirar a amostra a um nível inferior. No campo, as verrumadas foram armazenadas dentro de tubos cilíndricos de plástico e etiquetadas com um código identificativo.



Figura 11. Técnica de retirada de uma verrumada numa árvore



Figura 10. Verruma SUUNTO

4.3.2. Preparação das amostras

No laboratório, a preparação inicial das verrumadas passou pela colocação das verrumadas que não se encontravam direitas num recipiente com vapor, a fim de as obter com a orientação perfeitamente para as medições a realizar.

Cada verrumada, devidamente identificada, foi fixada com fita adesiva sobre um suporte de madeira (ripa de secção 2x2 cm com entalhe numa das faces em todo o seu comprimento) e deixada a secar ao ar. Posteriormente, cada verrumada foi colada, com cola de madeira não corrosiva (Figura 12), sobre o suporte com as fibras orientadas perpendicularmente em relação ao plano de apoio. Deste modo, e após a lixagem, é possível a visualização das células na sua secção transversal o que facilita a identificação dos anéis de crescimento.

Uma vez bem fixada ao suporte, a secção transversal é polida com lixas de granulometrias sucessivamente decrescentes de P80, P120, P240, com recurso a uma lixadeira de bancada (lixadeira de disco PROXXON TG 125/E), P320 e P400 numa lixadeira manual (lixadeira de detalhe fino PROXXON PS 13), e finalizadas à mão com P1000 até se obter uma superfície plana e lisa com os anéis de crescimento bem perceptíveis (Figura 13). Nas amostras do *Q. pyrenaica*, e com o objectivo de melhorar os limites dos sucessivos anéis de crescimento, as superfícies das verrumadas foram pintadas com lápis de cera branco de modo a salientar os vasos do lenho de início de estação.



Figura 12. Preparação de amostra para lixagem

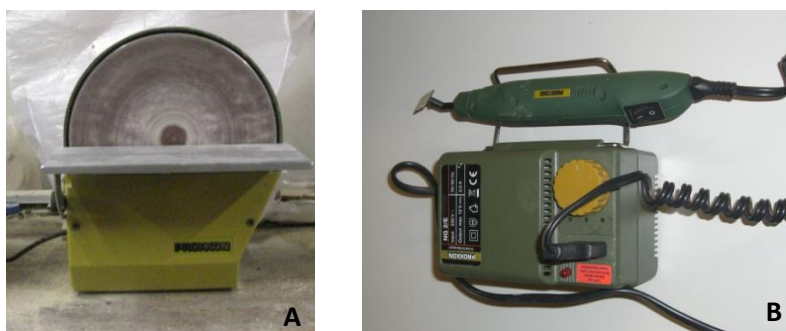


Figura 13. Lixadeira de bancada [A] e lixadeira manual [B]

4.3.3. Medição dos anéis de crescimento

Os anéis de crescimento distinguem-se em secção transversal através das diferenças de tamanhos entre as células do lenho de início e de fim de estação (ver Cap. 2). Nas verrumadas observadas ao microscópio de baixa ampliação, consegue-se apenas observar uma variação de cor ao longo do anel (Figura 14A), no caso das coníferas, ao passo que no caso da folhosa (Figura 14B) é possível identificar o padrão de variação da dimensão dos vasos. A espessura de cada anel de crescimento foi obtida pela medição do lenho de início e fim de estação nas espécies *Q. pyrenaica* e *P. sylvestris*, sendo a largura total do anel de crescimento de cada ano dada pela soma dos dois.

Nas verrumadas do *A. alba*, optou-se pela medição apenas da largura total de cada anel pelo facto de a transição entre lenho de início e de fim de estação ser muito gradual, introduzindo um elevado grau de subjectividade na distinção entre os dois tipos de lenho.

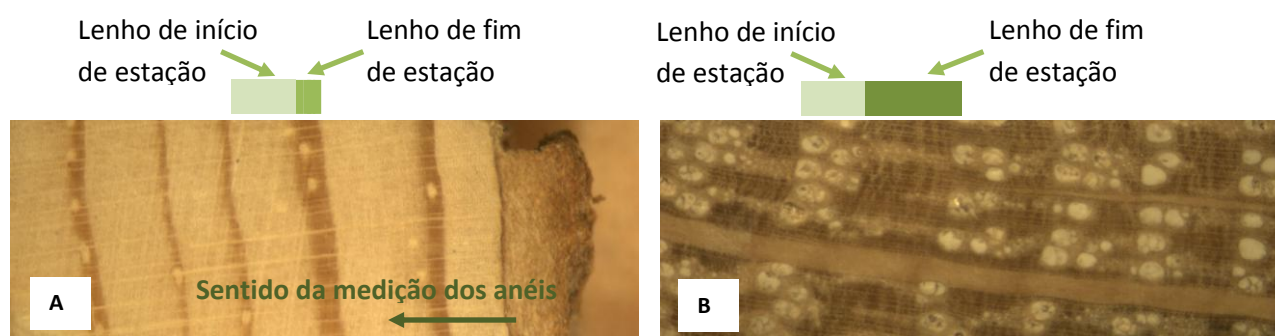


Figura 14. Anéis de crescimento de [A] *Pinus sylvestris* e [B] *Quercus pyrenaica*

Para cada par de verrumadas de cada árvore foram obtidas duas séries de medições dos anéis de crescimento, considerando-se a sua média a série representativa da árvore (Figura 15). A medição dos anéis de crescimento foi realizada no sentido do câmbio para a medula e apenas o lenho de início de estação do ano referente à recolha da amostra.

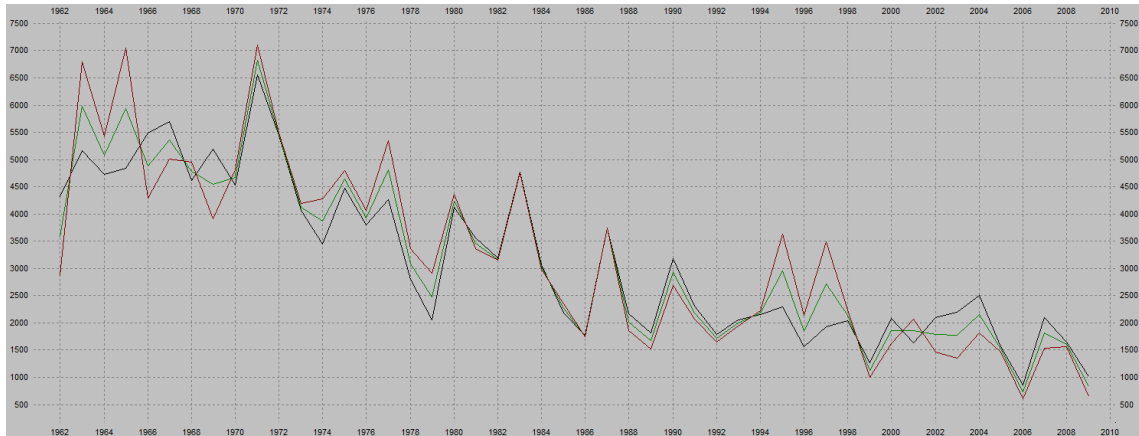


Figura 15. Séries de anéis de crescimento de duas verrumadas da mesma árvore de *P. sylvestris* (linhas superior e inferior) e média da árvore (linha intermédia)

O equipamento utilizado para a medição dos anéis de crescimento foi o seguinte (Figura 16):

- Mesa de medição de deslocamentos (*LINTAB Linear table 560 mm / 2,5 mm*);
- Stereo Microscope LEICA M80;
- *Software TSAP-Win Scientific.*

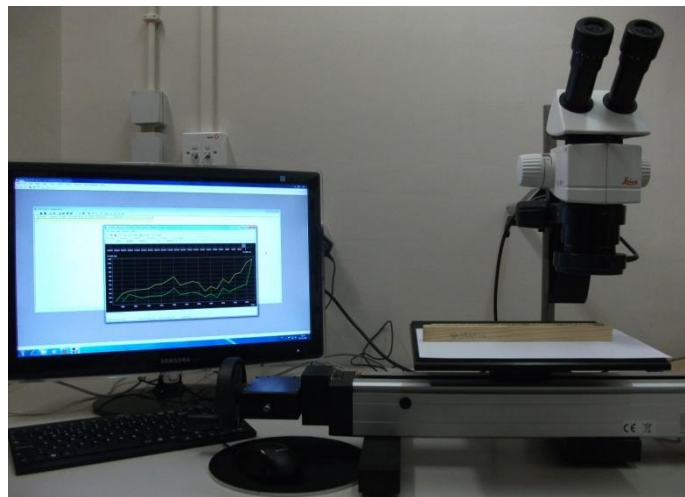


Figura 16. Equipamento de medição dos anéis de crescimento

4.3.4. Sincronização e datação das séries de anéis de crescimento

A datação consiste na atribuição de datas precisas a cada anel de modo a assegurar que cada valor medido corresponde ao ano em que foi formado o anel de crescimento. Para isso, as séries são sobrepostas e visualmente comparadas entre si com o objectivo de verificar as

medições das séries de anéis de crescimento, e também confirmar e corrigir a presença de falsos anéis ou ausência de anéis. Esta etapa é designada por *sincronização*. As decisões baseadas em observações visuais podem ser complementadas, ou reforçadas, com indicadores estatísticos.

A datação cruzada realiza-se muitas vezes utilizando séries ou, inclusivamente, séries parciais, médias individuais ou cronologias já estabelecidas para a região em causa até se verificar a correcta datação do conjunto das sequências de um local ou região. Permite assim, finalmente, a elaboração de uma base de dados por local de séries dendrocronológicas individuais datadas que, posteriormente, poderão ser utilizadas em diferentes aplicações.

Caso não se obtenha um bom grau de sincronização entre amostras da mesma árvore ou entre árvores do mesmo local ou região, é aconselhável a rejeição das amostras menos coincidentes, não as incluindo na fase seguinte de tratamento estatístico dos dados. No presente estudo foram rejeitadas duas amostras da encosta norte do *Q. pyrenaica* e *A. alba*, pelo que o número de árvores aceites, nestes casos, para cada espécie, é de 14, mantendo a amostragem inicial (15 árvores) para estudos dendrocronológico *Q. pyrenaica* e *P. sylvestris* da encosta sul (ver ponto 4.4.1.)

4.3.4.1. Principais indicadores estatísticos das séries de anéis de crescimento

Em termos estatísticos, uma série de anéis de crescimento de uma árvore é uma série discreta de observações obtidas em intervalos de tempo iguais. Como o crescimento anual das árvores é influenciado por múltiplos factores de forma complexa, considera-se o crescimento como um processo estocástico, ou seja, nele se comportam as leis da probabilidade (Cook, 1990).

4.3.4.1.1. Sensibilidade média

Sensibilidade média (*mean sensitivity*) - é um indicador da resposta da árvore a factores ambientais (Cherubini *et al.*, 2003). O padrão de variação da espessura dos anéis, ano após ano, reflecte as variações do factor ambiental que é mais limitante para o crescimento da árvore – neste caso, os anéis de crescimento são designados *sensitivos*. Quando a árvore não está a crescer sob condições de stress ambiental, os anéis tendem a apresentar uma menor variabilidade e, neste caso, são designados *complacentes* (Fritts, 1976). Este indicador mede a sensibilidade duma série de anéis de crescimento, comparando a largura do anel de

determinado ano com a largura do anel do ano seguinte (Leal *et al.*, 2008), ou seja, é quantificada a variabilidade inter-anual.

Os valores individuais (anuais) deste indicador – – variam entre zero (ou seja, não há diferença entre a espessura de anéis consecutivos) e dois (ou seja, quando um valor nulo surge perto de um valor não-nulo) (Leal *et al.*, 2008).

4.3.4.1.2. Desvio padrão

O desvio padrão é uma medida da homogeneidade da curva média. Ou seja, é uma medida da variação dos dados em redor da média e é considerado o resultado de duas grandes influências: factores que operam no povoamento e factores a uma escala menor que actuam em árvores individuais.

Amostras de locais com uma uniformidade ao nível ecológico apresentam uma menor variação, ao passo que locais mais heterogéneos, ou em casos em que houve uma má selecção das amostras (Schweingruber, 1988), o desvio padrão é maior.

4.3.4.1.3. Gleichläufigkeit

Gleichläufigkeit (sem tradução para outro idioma) - - é um indicador que mede a semelhança entre duas curvas (séries), analisando a tendência ascendente e descendente de dois pontos consecutivos no tempo. De acordo com Schweingruber (1988), trata-se de um indicador útil para datar amostras de idade desconhecida.

A pontuação deste parâmetro é restrita a três valores: nos casos em que a árvore cresce mais ou menos do que no ano anterior, a pontuação equivale a $\frac{1}{2}$ ou $-\frac{1}{2}$, respectivamente; caso não haja diferenças no crescimento entre dois anos consecutivos, a pontuação é nula.

A pontuação final de *Gleichläufigkeit*, expressa em percentagem, é baseada na contagem de quão duas árvores se acompanham no crescimento, ao longo dos anos: para cada ano, é calculado o somatório das pontuações de cada árvore e, dividido pelo número de anos, obtendo-se assim o indicador *Gleichläufigkeit*.

No caso de duas curvas de diferentes árvores (ou locais) apresentarem uma tendência de evolução paralela para muitos anos, é possível assumir que os factores que influenciam o crescimento são similares para ambos os casos (Schweingruber, 1988).

Com o objectivo de obter a máxima sincronização possível das amostras para cada local (*site*), a selecção das árvores foi baseada no indicador *Gleichläufigkeit* (GLK), tendo sido usado como critério de aceitação um coeficiente superior a 50%.

4.3.4.1.4. Coeficiente de correlação

O coeficiente de correlação - r - é um parâmetro estatístico que mede o grau de associação linear entre dois conjuntos de dados independentes. Em dendrocronologia, é relevante para identificar a associação entre diferentes séries de anéis ou entre dados climáticos e a espessura dos anéis (Strumia, 1999).

O coeficiente de correlação varia entre 1 (perfeita e positiva correlação) e -1 (perfeita e negativa correlação), em que 0 (zero) indica que dois conjuntos de dados são completamente independentes ou, no mínimo, apresentam uma dependência não linear (Strumia, 1999).

4.3.5. Construção de cronologias de anéis de crescimento

4.3.5.1. Padronização das séries de anéis de crescimento

A padronização permite que séries de anéis de crescimento de diferentes amostras possam ser comparadas, removendo as variações causadas por factores bio-ecológicos, tais como idade da árvore, as diferenças ao nível micro local (Schweingruber, 1988) e a variabilidade individual da árvore (Leal *et al.*, 2008).

Uma vez obtidas e datadas as séries individuais (e corrigidos os eventuais erros), é construída a série cronológica do local, implicando, para tal, o cálculo da média das séries individuais. Para tal, é necessário transformar cada série cronológica numa *curva padrão (smoothed function)* a variar entre 0 (zero) e 1 (um). O objectivo é evitar que as árvores com uma taxa de crescimento maior tenham uma maior influência do que as árvores com anéis de crescimento mais pequenos sobre o valor médio da série cronológica do local (Fritts, 1976). A tendência natural relacionada com a idade da árvore deverá ser removida, caso contrário será introduzida uma “falsa variabilidade” na série cronológica (Strumia, 1999).

A padronização consta na transformação de séries de anéis de crescimento não estacionárias em estacionárias (Cook, 1987). A cada série individual é ajustada uma função não-linear (exponencial, polinomial ou *spline*). Através da divisão entre o crescimento medido (R_t) e o valor ajustado dado pela função (A_t), obtém-se um índice adimensional (I_t), sendo a sua média igual a 1 e tendo uma variância constante (Cook, 1987).

Existem diversos métodos de padronização que diferem na função ajustada às séries de anéis. Qualquer que seja o método de padronização aplicado, implica a perda de uma certa variabilidade que poderá estar relacionada com o clima (Briffa *et al.*, 1998).

Na análise de séries temporais, os métodos determinísticos têm subjacente o princípio de que observações sucessivas dependem das observações anteriores e de que os valores futuros podem ser previsíveis a partir de observações passadas (Chatfield, 1975 *cit in* Strumia, 1999). Nestes métodos são utilizados, entre outros, a regressão linear (1), a curva exponencial negativa (2) ou curvas polinomiais (3) (Cook, 1987).

(1)

(2)

(3) +

A curva polinomial não se baseia, *à priori*, num modelo de tendência relativa à idade; neste caso, a curva ajusta-se de acordo com o comportamento da série. Trata-se de um modelo adaptativo que, geralmente, não é recomendado para o ajuste de tendências (Cook, 1987). Porém, poderá ser útil em casos particulares, como seja na padronização de séries de anéis de crescimento de árvores que alteraram a sua posição social no povoamento (Strumia, 1999).

Neste trabalho, após uma análise visual pormenorizada das curvas de cada local e das vantagens e desvantagens associadas a cada modelo de acordo com estudos já realizados, optou-se pelo modelo de exponencial negativa para a estimativa da curva de tendência relacionada com a idade da árvore, tendo, no entanto, sido aplicada uma regressão linear em alguns casos. De acordo com Cook *et al.* (1990), uma exponencial negativa é um bom ajuste para as árvores com um crescimento imperturbado, como é o caso das árvores em estudo.

4.3.5.2. Indicadores estatísticos das cronologias

Após a elaboração de uma cronologia para um local é importante a quantificação da *intensidade do sinal*, analisando estatisticamente a variabilidade comum presente nas árvores de um local particular. Segundo Strumia (1999), a variância de qualquer série contém uma certa quantidade de sinal, assim como uma certa quantidade de ruído estatístico.

4.3.5.3. Sinal efectivo da cronologia

O sinal efectivo da cronologia (*effective chronology signal*) - - entra em linha de conta com a variabilidade dentro da árvore, assim como a variabilidade entre árvores.

r_{wt} = *sinal intra-árvore* - é obtido pela média dos coeficientes de correlação calculados entre as séries indexadas da mesma árvore para todas as árvores

r_{bt} = *sinal inter-árvores* - é obtido pela média dos coeficientes de correlação calculados para todos os possíveis pares de séries obtidas das diferentes árvores do mesmo *site*

C = número de verrumadas por árvore, caso este seja constante.

Caso o parâmetro c não seja constante, c_{eff} deverá ser calculado do seguinte modo (Strumia, 1999):

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i}$$

4.3.5.4. Sinal expresso da população

A cronologia média é a função assumida para expressar o sinal de cronologia. É, portanto, necessário quantificar a *intensidade do sinal*. O sinal comum corresponde a (ver 2.4.3.1.) e o *ruído estatístico* (N) pode ser definido por . O cálculo da média reduz o ruído proporcionalmente à replicação:

N_{mean} = ruído estatístico da cronologia média

n = número de árvores

Após o cálculo da média, a variância da cronologia ainda é afectada pelo ruído residual, o qual pode ser quantificado através da divisão do sinal da cronologia média pelo hipotético sinal da cronologia perfeita – EPS – sinal expresso da população (*Expressed population signal*):

$$\frac{\text{Sinal da cronologia média}}{\text{Sinal da cronologia perfeita}}$$

De acordo com Strumia (1999), não existe um valor de EPS que garanta uma cronologia relevante para a reconstrução climática uma vez que o sinal comum poderá reflectir um evento não-climático (por exemplo, poluição, acção de insectos, gestão florestal). No entanto, valores acima de 0,85 são sugeridos como razoáveis para qualquer estudo dendroclimatológico (Wigley *et al.*, 1984).

4.3.6. Identificação do sinal climático das cronologias de anéis de crescimento

A influência dos factores climáticos no crescimento do *Q. pyrenaica*, *P. sylvestris* e *A. alba* foi avaliada através da comparação da espessura total do anel (RWW) e lenho de início (EWW) e fim de estação (LWW) com a precipitação total mensal e temperatura (média, máxima e mínima) referentes à Estação Meteorológica de Bragança. Uma vez que esta estação meteorológica apenas apresenta registos meteorológicos a partir de 1950, a presente análise entra em linha de conta apenas com a parte das cronologias relativamente ao período 1950-2008.

A análise estatística efectuada para o estudo da correlação entre as variáveis climáticas seleccionadas baseou-se na determinação do coeficiente de correlação *Pearson* com a identificação dos respectivos níveis de significância (95% e 99%), com recurso ao *software SSPS Statistic*.

¹ poderá ser substituído por caso exista apenas uma verrumada por árvore (Strumia, 1999)

4.3.7. Identificação de anos com crescimentos extremos

Segundo Schweingruber *et al.* (1990), o *ano indicador* (*pointer year*) refere-se a um ano em que grande percentagem das árvores de uma amostragem exhibe um *ano de evento* (*event year*). Este refere-se a uma avaliação puramente visual numa sequência de anéis de crescimento de árvores individuais, podendo ser facilmente detectável (ou identificada) quando a sua dimensão (ou intensidade) é comparada com os valores dos anéis vizinhos.

Através da análise da tendência de evolução temporal de cada série de anéis de crescimento de um conjunto de várias árvores de um mesmo local, é possível a identificação dos anos em que o comportamento é igual em todas as séries. Caso um intervalo de tendência (*pointer interval*) seja elevado (ou seja, em que a maioria das árvores apresenta uma mesma tendência de evolução significativa - crescente ou decrescente), é possível assumir que um factor particular influencia o crescimento das árvores no(s) ano(s) em questão, sendo este(s) ano(s) designados *anos indicadores* (Schweingruber, 1988).

De acordo com Schweingruber *et al.* (1990), a dimensão mínima da amostragem para a identificação de um *ano indicador*, e para um nível de certeza de 99,9%, é de 13 séries de anéis de crescimento.

Um dos métodos mais apropriados para a identificação de um *ano indicador* é através da comparação da espessura de cada anel com a média dos quatro anos anteriores (Neuwirth *et al.*, 2004; Meyer 1998-1999).

A variação da alteração do crescimento dos anéis entre anos consecutivos é calculado de acordo com a seguinte fórmula (Neuwirth *et al.*, 2004 e Leal *et al.*, 2008).

<i>i=1</i>	<i>Decréscimo do crescimento do anel do ano, relativamente aos quatro anos anteriores, superior a 70%</i>
<i>i=2</i>	<i>Decréscimo do crescimento do anel do ano, relativamente aos quatro anos anteriores, entre 55% e 70%</i>
<i>i=3</i>	<i>Decréscimo do crescimento do anel do ano, relativamente aos quatro anos anteriores, entre 40% e 55%</i>
<i>i=4</i>	<i>Decréscimo do crescimento do anel do ano, relativamente aos quatro anos anteriores, entre 0% e 40%</i>
<i>i=5</i>	<i>Aumento do crescimento do anel do ano, relativamente aos quatro anos anteriores, entre 0% e 66%</i>
<i>i=6</i>	<i>Aumento do crescimento do anel do ano, relativamente aos quatro anos</i>

	<i>anteriores, entre 66% e 122%</i>
<i>i=7</i>	<i>Aumento do crescimento do anel do ano,relativamente aos quatro anos anteriores, entre 122% e 233%</i>
<i>i=8</i>	<i>Aumento do crescimento do anel do ano,relativamente aos quatro anos anteriores, superior a 233%</i>

4.4. Resultados e discussão

4.4.1. Análise e caracterização das séries de anéis de crescimento

Das três espécies amostradas, a *Q. pyrenaica* foi a que apresentou exemplares mais velhos, com uma idade média para o conjunto do número de árvores aceites para o estudo dendroclimatológico de 64 anos e 72 anos nas encostas norte e sul, respectivamente (Quadro 3). A série de anéis de maior dimensão foi encontrada no *Q. pyrenaica* (104 anos), correspondendo, no entanto, a um único exemplar.

O número de anos que se apresenta para a série de anéis, em função da espécie e local, não se refere à idade cambial da árvore uma vez que, na maioria das verrumadas recolhidas, não foi possível atingir a medula. Consequentemente, houve uma omissão dos primeiros anos das árvores. A amostragem do *A. alba* revelou tratar-se de árvores muito jovens (no máximo, com 47 anos), pelo que na análise futura dos dados dever-se-á ter sempre em consideração que o factor idade irá eventualmente influenciar os resultados e não permitir a obtenção de um bom sinal climático. Do total de cada amostragem, por espécie e na vertente sul da encosta, foram aceites todas as verrumadas para análise dos anéis de crescimento; das amostras obtidas na vertente norte, houve necessidade de rejeitar uma árvore em ambas as espécies (equivalente ao total de quatro verrumadas) dada a fraca sobreposição que se obtinha das curvas dos anéis de crescimento com a restante amostragem (Quadro 3).

Quadro 3. Caracterização da amostragem por espécie e local e respectivas datações

Vertente	Código	Espécie	Nº árvores amostradas	Nº árvores rejeitadas [Taxa de rejeição]	Nº árvores aceites	Data _i	Data _f ¹	Nº anos ²
Norte	SNNQP	<i>Q. pyrenaica</i>	15	1 [7%]	14	1941	2009	64 [56-69]
	SNNA	<i>A. alba</i>	10	1 [10%]	9	1963	2009	44 [40-47]
Sul	SNSQP	<i>Q. pyrenaica</i>	15	0 [0%]	15	1906	2009	72 [63-104]
	SNSPS	<i>P. sylvestris</i>	15	0 [0%]	15	1946	2009	58 [46-64]

¹ Ano correspondente ao ano da amostragem ² Limites inferior e superior encontrados no conjunto das árvores aceites para cada espécie analisada e local amostrado

Para os diferentes períodos de análise de cada espécie, identificados de acordo com as datas de início e de fim após identificação e contabilização dos anéis (Quadro 3), a espessura média dos anéis de crescimento registado para o *Q. pyrenaica* nas encostas sul e norte situou-se nos 1,09 mm e 1,58 mm, respectivamente (Quadro 4). Valores semelhantes aos registados em outros estudos nesta espécie para classes de idade semelhantes (Lamas *et al.*, 2007). Apesar de a espessura média dos anéis de crescimento do *Q. pyrenaica* apresentar uma diferença de acordo com a topografia, não se poderá concluir que seja este o principal factor, dado que é necessário ter em linha de conta outros factores, nomeadamente ao nível das características biométricas dos povoamentos, clima e solos.

O *P. sylvestris* apresenta uma espessura média dos anéis de crescimento de 2,49 mm. Camarero *et al.* (1998) encontrou valores similares para a mesma espécie, em árvores com idades semelhantes e localizadas em terreno com declive com exposição SW na Península Ibérica.

Quadro 4. Espessura média dos anéis de crescimento (mm), por espécie e local (RWW - anel de crescimento completo; EWW - lenho de início de estação; LWW - lenho de fim de estação)

	RWW			EWW			LWW		
	Média ± Desv. Pad.	Min	Máx	Média ± Desv. Pad.	Min	Máx	Média ± Desv. Pad.	Min	Máx
<i>Q. pyrenaica</i> encosta sul	1,09±0,20	0,70	1,49	0,49±0,10	0,38	0,68	0,60±0,15	0,31	0,97
<i>P. sylvestris</i> encosta sul	2,49±0,42	1,92	3,51	1,76±0,24	1,32	2,28	0,57±0,11	0,40	0,84
<i>Q. pyrenaica</i> encosta norte	1,58±0,28	1,13	2,03	0,52±0,10	0,36	0,73	1,06±0,22	0,65	1,44
<i>A. alba</i> encosta norte	3,65±0,74	2,63	4,93	-	-	-	-	-	-

Nas Figuras 17 a 20 apresentam-se as séries de anéis de crescimento (espessura total do anel e lenhos de início de fim de estação) para cada espécie e local amostrado. É perceptível a tendência natural de decréscimo exponencial do crescimento da árvore com a idade para todas as espécies. As árvores geralmente crescem bastante rapidamente em diâmetro até à fase adulta, na qual o crescimento é mais lento e a espessura dos anéis é menor (Dickison, 2000), estabilizando o seu crescimento a partir desta idade.

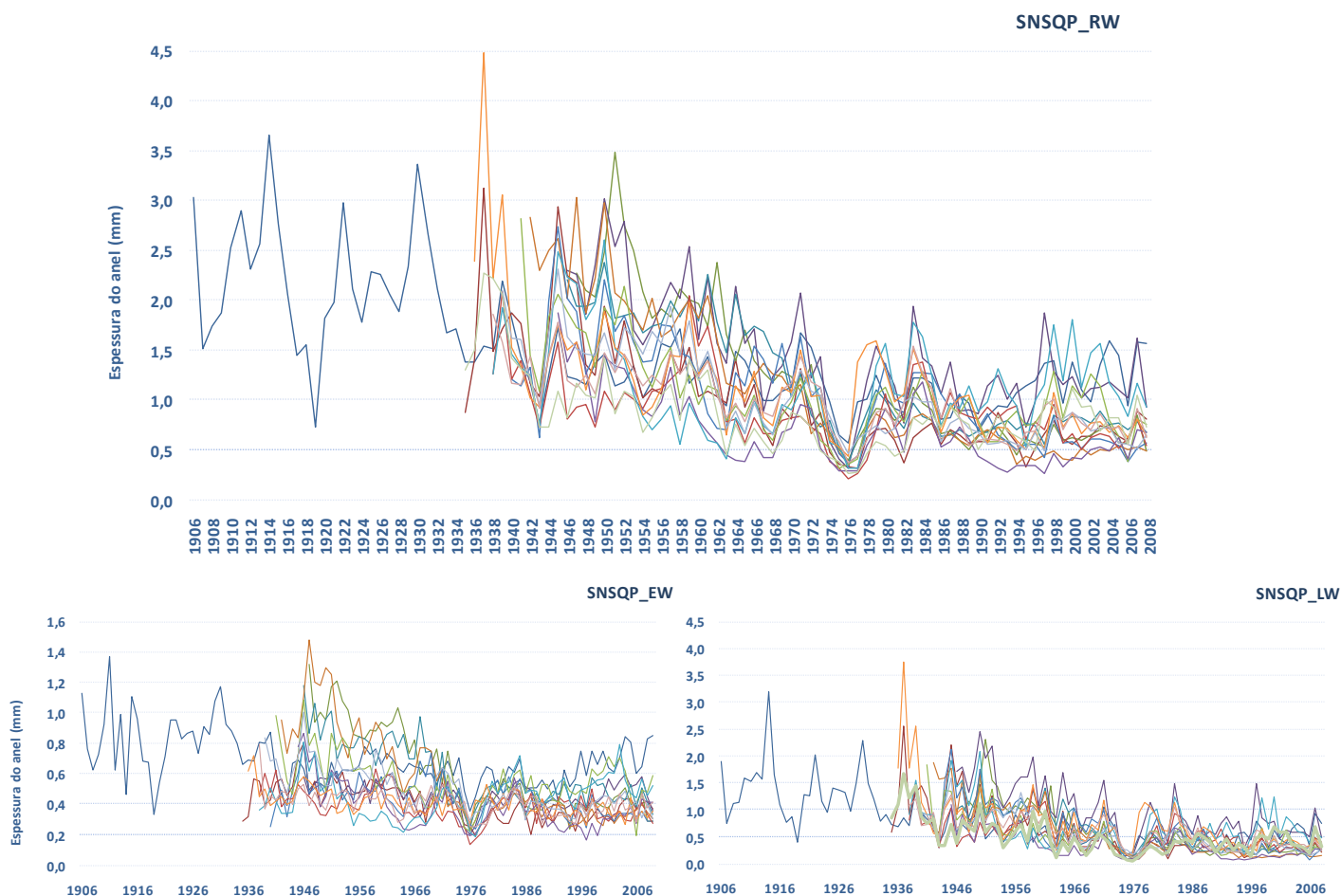


Figura 17. Séries de crescimento do *Q. pyrenaica* da encosta sul (SNSQP) (RWW - anel de crescimento completo; EWW - lenho de início de estação; LWW - lenho de fim de estação)

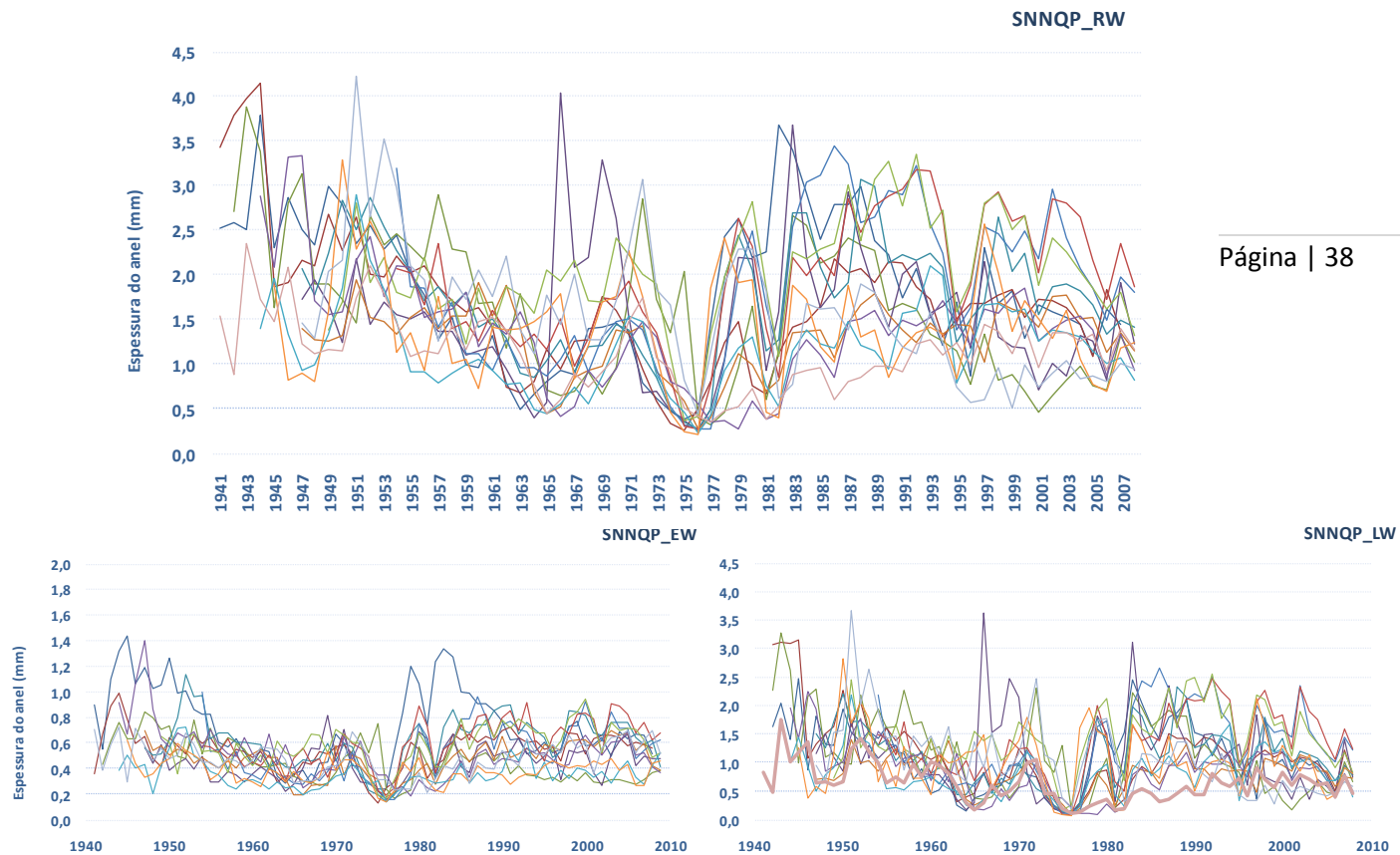


Figura 18. Séries de crescimento do *Q. pyrenaica* da encosta norte (SNNQP) (RWW - anel de crescimento completo; EWW - lenho de início de estação; LWLW - lenho de fim de estação)

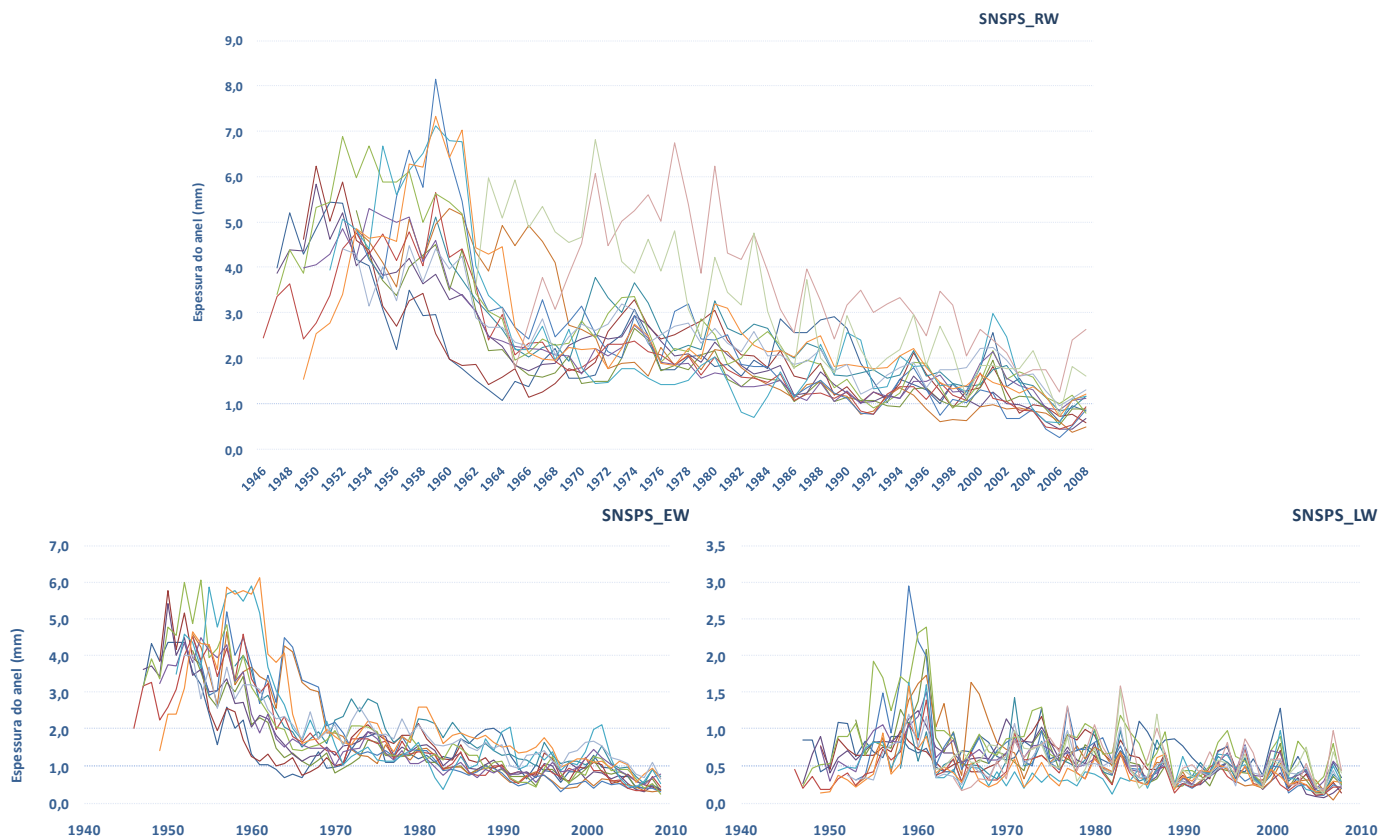


Figura 19. Séries de crescimento do *P. sylvestris* da encosta sul (SNSPS) (RWW—anel de crescimento completo; EWW—lenho de início de estação; LWLW—lenho de fim de estação)

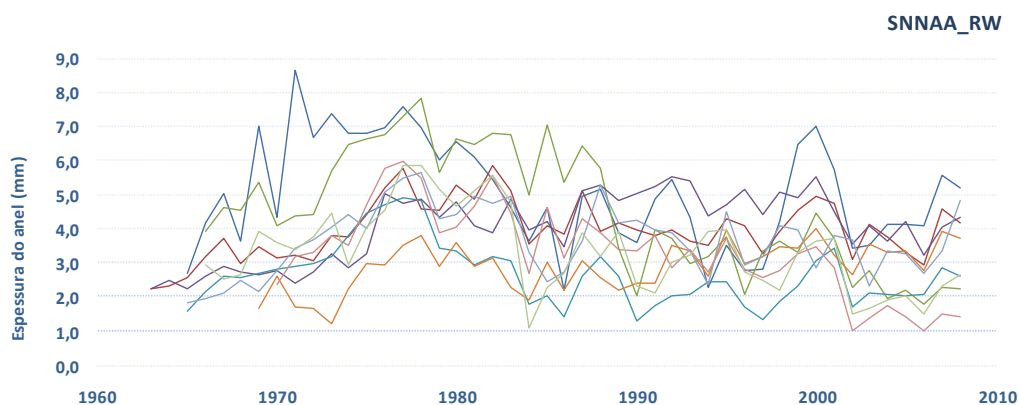


Figura 20. Séries de crescimento do *A. alba* da encosta norte (SNNA) (RW - anel de crescimento completo)

Comparando as cronologias médias entre árvores de cada espécie, verifica-se que o parâmetro *Gleichläufigkeit* varia entre valores aceitáveis (50%-52%) e valores muito elevados (80%-86%) (Quadro 5), permitindo assim aceitar quase todas as verrumadas para o tratamento estatístico seguinte. No entanto, verificou-se alguma dificuldade na datação cruzada e da sincronização das séries de anéis de crescimento das espécies em causa, tal como já foi tido por outros autores em espécies que se desenvolvem na região mediterrânica (Cherubini *et al.*, 2003).

Quadro 5. Caracterização da qualidade estatística das séries de anéis de crescimento, por espécie e local

	Coef. correlação (<i>r</i>)	<i>Gleichläufigkeit</i>
<i>Q. pyrenaica</i> encosta sul	0,46	[51% - 83%]
<i>P. sylvestris</i> encosta sul	0,47	[50% - 86%]
<i>Q. pyrenaica</i> encosta norte	0,36	[50% - 80%]
<i>A. alba</i> encosta norte	0,51	[52% - 86%]

Sobre cada curva foi ajustada uma função exponencial negativa (Figura 21A), igualmente aplicada em outros estudos realizados na região mediterrânica (Gutiérrez, 1990; Lamas *et al.*, 2007). No entanto, constatou-se em algumas amostras uma tendência de decréscimo linear negativo (Figura 21B) com a idade e outros casos em que as espessuras dos anéis variam ao redor de um mesmo valor médio ao longo do tempo (Figura 21C).



Figura 21. Representação da espessura dos anéis de crescimento em função da idade da árvore (a título de exemplo numa folhosa e numa resinosa). Pontuação azul corresponde aos dados observados e pontuação vermelha a linha de tendência [A] função exponencial negativa [B] regressão linear [C] linha média

Uma vez obtida uma curva ajustada para cada série individual dos anéis de crescimento, a curva indexada (cronologia) é obtida pela divisão de cada valor observado pelo valor ajustado para cada ano. As cronologias finais obtidas, para cada espécie e local, resultam da média das cronologias de cada árvore do local amostrado (Fritts, 1976). Na Figura 22 apresentam-se as cronologias finais para as três espécies estudadas, sobrepondo-se o número de amostras utilizadas para o cálculo da cronologia local/espécie para cada ano (área sombreada). Tal como refere (Fritts, 1976), as cronologias não apresentam uma tendência linear, variando entre zero e dois. Apesar da remoção das alterações sistemáticas na espessura dos anéis de crescimento associadas à idade da árvore, é visível a queda mais acentuada do *Q. pyrenaica*, de ambas as encostas, para o período 1974-1976.

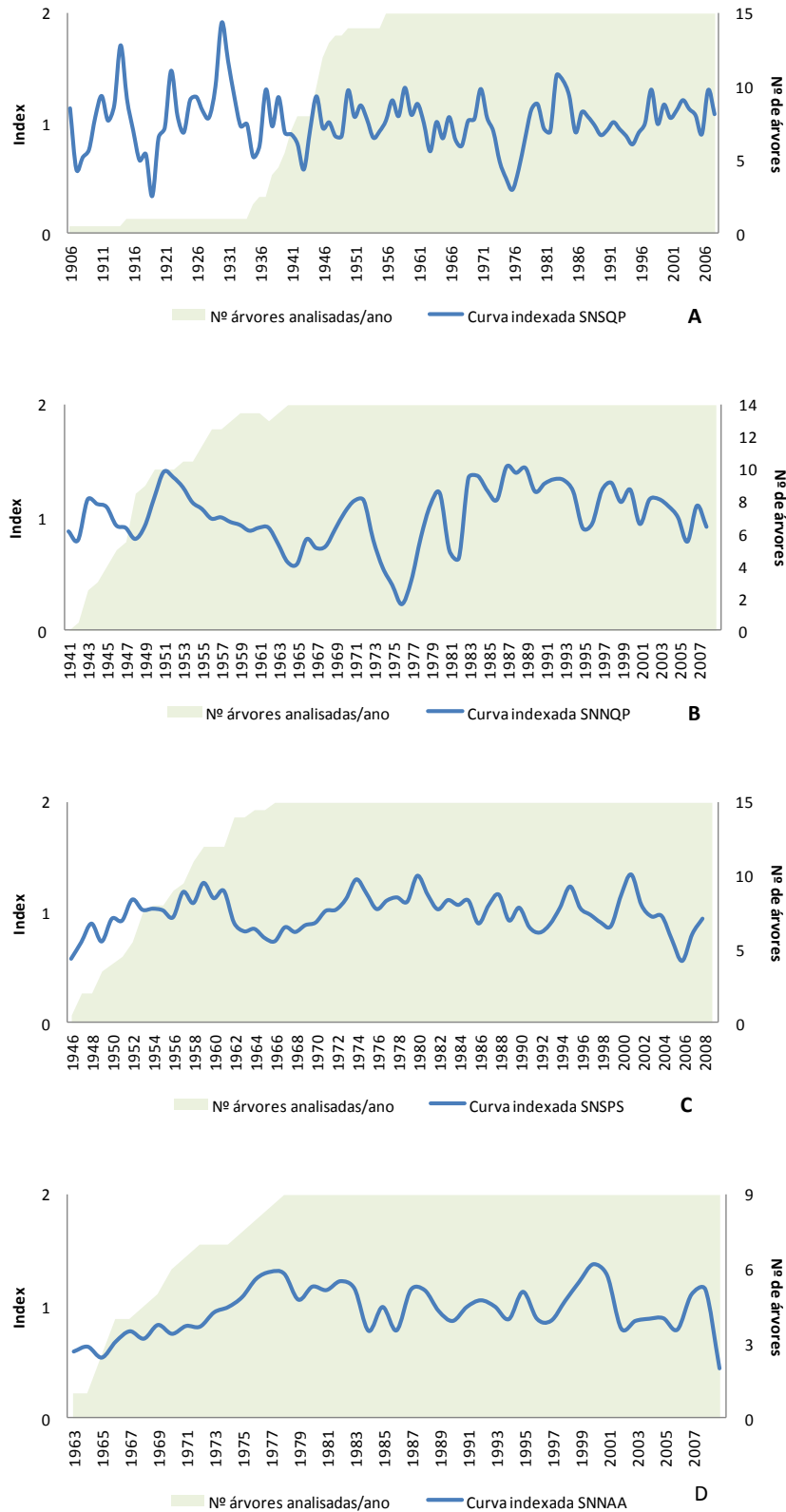


Figura 22. Curva indexada de [A] *Q. pyrenaica* da encosta sul, SNSQP [B] *Q. pyrenaica* da encosta norte, SNNQP [C] *P. sylvestris*, SNSPS [D] *A. alba*, SNNA

Uma vez construída a cronologia, para cada espécie e local, a sua caracterização é baseada na análise estatística, nomeadamente através do parâmetro *sensibilidade média* e do desvio padrão (Quadro 6) e da quantificação da intensidade do sinal (Quadro 7).

Os valores registados para a *sensibilidade média* relativamente ao *P. sylvestris* (0,213) são consistentes com os resultados verificados por outros estudos realizados na região mediterrânica (Richter *et al.*, 1991; Bogino *et al.*, 2009; Andreu *et al.*, 2007; Gutiérrez, 1990). O reduzido valor constatado para a cronologia da *A. alba* (0,160) será justificado, em grande parte, pelo facto de se tratar de árvores muito jovens com uma variabilidade inter-anual, em termos de crescimento, muito grande e justificada mais por questões fisiológicas e não tanto por factores externos, nomeadamente climáticos.

De acordo com os dados obtidos para as cronologias dos locais estudados para o *Q. pyrenaica* e *P. sylvestris* (Quadro 7), constata-se que o lenho de fim de estação apresenta uma maior sensibilidade a factores ambientais relativamente ao lenho de início de estação, dados os valores superiores que apresenta relativamente ao desvio padrão e à sensibilidade média. Elevados valores do desvio padrão indicam geralmente que as séries de anéis têm uma elevada sensibilidade a variáveis ambientais (Oberhuber *et al.*, 1998).

Quadro 6. Estatística das cronologias, por espécie e local (RWW=anel de crescimento completo; EWW=lenho de início de estação; LWW=lenho de fim de estação)

Código	<i>sensibilidade média</i>			desvio padrão		
	RWW	EWW	LWW	RWW	EWW	LWW
<i>Q. pyrenaica</i> encosta sul	0,238	0,212	0,391	0,305	0,245	0,391
<i>P. sylvestris</i> encosta sul	0,213	0,218	0,321	0,300	0,321	0,457
<i>Q. pyrenaica</i> encosta norte	0,285	0,237	0,237	0,418	0,334	0,336
<i>A. alba</i> encosta norte	0,160	-	-	0,286	-	-

A intensidade do sinal é quantificada através duma análise estatística que avalia a variabilidade comum presente entre todas as árvores de cada amostragem. Para o parâmetro *sinal expresso da população* (EPS) que mede a confiança na cronologia, e que contempla a variabilidade intra-árvore (r_{ew}) e inter-árvores (r_{wt}) através do cálculo do *sinal efectivo da cronologia* (r_{eff}), foram obtidos valores entre 0,847 e 0,912 para a espessura total do anel (Quadro 7). Valores acima de 0,85 sugerem que cada uma das cronologias apresentadas tem um forte sinal climático (Wigley *et al.*, 1984).

O facto de os valores de EPS referentes ao lenho de fim de estação serem superiores relativamente aos valores de EPS do lenho de início de estação, está em concordância com as relações obtidas para os parâmetros desvio padrão e sensibilidade média.

Quadro 7. Intensidade do sinal das cronologias (RWW—anel de crescimento completo; EWW—lenho de início de estação; LWW—lenho de fim de estação)

Código	RWW				EWW				LWW			
	r_{wt}	r_{bt}	r_{eff}	EPS	r_{wt}	r_{bt}	r_{eff}	EPS	r_{wt}	r_{bt}	r_{eff}	EPS
<i>Q. pyrenaica</i> encosta sul	0,722	0,473	0,407	0,912	0,428	0,320	0,229	0,806	0,678	0,452	0,379	0,901
<i>P. sylvestris</i> encosta sul	0,510	0,363	0,274	0,850	0,451	0,386	0,279	0,835	0,575	0,468	0,383	0,903
<i>Q. pyrenaica</i> encosta norte	0,798	0,460	0,413	0,908	0,592	0,444	0,354	0,877	0,770	0,458	0,405	0,905
<i>A. alba</i> encosta norte	0,491	0,512	0,382	0,847	-	-	-	-	-	-	-	-

As cronologias das três variáveis (RW, EWW e LWW) foram comparadas para cada local com o objectivo de determinar se as mesmas contêm o mesmo tipo de informação (Quadro 8).

A espessura total do anel e o lenho de fim de estação do *Q. pyrenaica*, para as encostas sul e norte, apresentam uma correlação muito grande - $r=0,974$, $P<0,001$ e $r=0,980$, $P<0,001$, respectivamente; as correlações entre a espessura total do anel e o lenho de início de estação são menores, mas ainda significativas ($r=0,754$, $P<0,001$ e $r=0,805$, $P<0,001$, respectivamente). O mesmo foi constatado por Fonti *et al.* (2008) em árvores com porosidade em anel. O lenho de início de estação apresenta, igualmente, correlações significativas com o lenho de fim de estação do ano anterior ($r=0,702$, $P<0,001$ e $r=0,847$, $P<0,001$, respectivamente). As árvores com este tipo de porosidade começam a desenvolver os primeiros vasos de lenho de início de estação antes mesmo, ou no momento, da quebra de dormência dos gomos apicais, ou seja, mais cedo que o recomeço da actividade fotossintética. Assim sendo, o começo da formação do lenho de início de estação é suportado pela mobilização das reservas armazenadas durante a estação de crescimento anterior (Fonti *et al.*, 2008).

No caso do *P. sylvestris*, a espessura total do anel e o lenho de fim de estação apresentam uma correlação menor quando comparada com a espécie anterior, mas ainda assim significativa ($r=0,687$, $P<0,001$). Na realidade, o lenho de início de estação apresenta uma correlação maior com a espessura total do anel ($r=0,904$, $P<0,001$), e não tão significativa com o lenho de fim de estação do ano anterior ($r=0,525$, $P<0,001$) quando comparado com o *Q. pyrenaica*.

Tal como constatado por Lebourgeois *et al.* (2004) e Corcuera *et al.* (2004) em estudos com *Quercus* spp. e Oberhuber *et al.* (1998) com *Pinus* spp., a maior variabilidade inter-anual do lenho de fim de estação reflecte o impacto climático no seu desenvolvimento, sendo o lenho de início de estação menos sensível a este factor.

Quadro 8. Correlações entre as cronologias das variáveis do anel de crescimento, por espécie e local com um nível de significância 99% (RWW - anel de crescimento completo; EWW - lenho de início de estação; LWW - lenho de fim de estação; LWW_{i-1} - lenho de fim de estação do ano anterior; * nível de significância 95%)

	LWW_{i-1}	RWW _i	EWW _i
<i>Q. pyrenaica</i> - encosta sul			
RWW _i	0,392	-	-
EWW _i	0,702	0,754	-
LWW _i	0,290*	0,974	0,611
<i>Q. pyrenaica</i> - encosta norte			
RWW _i	0,758	-	-
EWW _i	0,847	0,805	-
LWW _i	0,674	0,980	0,690
<i>P. sylvestris</i> - encosta sul			
RWW _i	0,482	-	-
EWW _i	0,525	0,904	-
LWW _i	0,308	0,687	0,347

4.4.2. Relações entre o clima e o crescimento da árvore

4.4.2.1. Identificação de sinais climáticos nas cronologias

Nos Quadros 9 a 12 apresentam-se os coeficientes de correlação entre a precipitação e temperatura e os anéis de crescimento, por espécie e por local, incluindo as correlações entre as mesmas variáveis climáticas e os lenhos de início e fim de estação.

Numa análise mais pormenorizada para o *P. sylvestris*, constata-se correlações positivas significativas entre o lenho de fim de estação e a precipitação (Quadro 9), tendo-se verificado as correlações mais elevadas para os seguintes períodos: Abril a Agosto ($r=0,48$, $P<0,001$), Julho ($r=0,40$, $P<0,001$), Maio ($r=0,39$, $P<0,001$) e Novembro a Dezembro do ano anterior ($r=0,33$, $P<0,05$), Fevereiro a Março ($r=0,30$, $P<0,05$) e Setembro do ano anterior a Março do ano ($r=0,27$, $P<0,05$). Ou seja, o crescimento do lenho de fim de estação está directamente

relacionado com a precipitação que ocorre no início da actividade cambial (Abril/Maio) e nos meses de Outono do ano anterior (Outubro, Novembro e Dezembro). A água armazenada no solo, na época de maior precipitação em regiões mediterrânicas, irá contribuir significativamente para o crescimento da árvore no ano seguinte (Gutiérrez, 1989). Não se regista nenhuma correlação significativa entre a precipitação e a espessura total do anel.

Tendo em linha de conta a correlação com a temperatura média (Quadro 10), constata-se correlações negativas com o crescimento do lenho de fim de estação, sendo as mais significativas para os meses de Julho ($r=-0,39$, $P<0,001$) e Outubro do ano anterior ($r=-0,35$, $P<0,001$). Gutiérrez (1989) constatou semelhante correlação com a temperatura referente a Outubro do ano anterior em estudos realizados com *P. sylvestris* em Espanha. De acordo com a mesma fonte, em regiões mediterrânicas, um decréscimo da precipitação e um aumento da temperatura causam uma rápida diminuição da humidade do solo quando a taxa de crescimento é elevada; nestas condições, as árvores param de crescer quando, no Verão, a água não está disponível. O efeito negativo da temperatura média e o efeito positivo da precipitação no mês de Julho, leva a uma limitação do crescimento, seja por falta de água e/ou pelas elevadas temperaturas neste mês. Elevadas temperaturas e forte radiação solar aumentam as taxas de evaporação, diminuindo assim o teor de humidade na parte mais superficial do solo; consequentemente, o crescimento das raízes finas é inibido e a absorção de nutrientes já fraca pode ser dificultada (Oberhuber, *et al.*, 1998).

Segundo Bogino *et al.* (2009) e Gutiérrez (1989), as temperaturas de Inverno têm um impacto positivo no crescimento radial do *P. sylvestris*; no presente estudo, constatou-se uma correlação positiva significativa no mês de Fevereiro ($r=0,27$, $P<0,05$). Segundo Gutiérrez (1990), o efeito positivo das variáveis climáticas, referentes ao Outono do ano anterior, sobre o crescimento pode estar relacionado com o atraso no início do período de latência invernal. No Outono, uma vez completado o crescimento do anel, o *P. sylvestris* pode continuar o seu crescimento, com o floema activo ainda nesse período; nestas circunstâncias, os produtos resultantes da actividade fotossintética podem passar a ser substâncias de reserva.

Entrando em linha de conta com a temperatura máxima e mínima, constata-se correlações idênticas (Quadros 11 e 12). As fracas correlações obtidas entre o lenho de início de estação e o clima permitem concluir que esta componente do anel de crescimento apresenta uma menor sensibilidade às variações climáticas, tal como já foi verificado em outros estudos com *Pinus spp.* (Lebourgeois, 2000).

Tal como no *P. sylvestris*, o lenho de início de estação dos anéis do *Q. pyrenaica* da encosta sul, apresenta correlações distintas com a precipitação em comparação com a largura do anel e o

lenho de fim de estação (Quadro 9). No entanto, constata-se uma correlação positiva significativa com a precipitação referente ao período de Março a Maio ($r=0,32$, $P<0,05$); ou seja, o início da actividade cambial e o desenvolvimento dos vasos estarão directamente dependentes da água disponível nos meses de início do crescimento (Fonti *et al.*, 2008). Verifica-se uma similaridade nas correlações entre a precipitação e a espessura do anel e a precipitação e o lenho de fim de estação. Para ambos os casos, os períodos com melhores correlações foram o mês de Abril ($r=0,38$, $P<0,001$ e $r=0,44$, $P<0,001$, respectivamente), Abril-Maio ($r=0,37$, $P<0,001$ e $r=0,43$, $P<0,001$, respectivamente) e Março-Maio ($r=0,36$, $P<0,001$ e $r=0,33$, $P<0,001$, respectivamente), Abril-Julho ($r=0,38$, $P<0,001$ e $r=0,39$, $P<0,001$, respectivamente) e Abril-Agosto ($r=0,33$, $P<0,05$ e $r=0,38$, $P<0,001$, respectivamente). Semelhantes constatações foram encontradas por Fonti *et al.* (2008) num estudo com *Quercus* spp. No presente estudo, o efeito positivo da precipitação nos anéis de crescimento do *Q. pyrenaica* verifica-se precisamente no início da Primavera até Agosto, não devendo ser descurada a correlação positiva entre o crescimento e a precipitação acumulada nos meses de inverno do ano anterior, nomeadamente Novembro e Dezembro ($r=0,33$, $P<0,001$). Amorini *et al.* (1996) e Tessier *et al.* (1994) registaram idênticas correlação num estudo com *Quercus* spp.. O efeito da temperatura na espessura do anel e no lenho de fim de estação é pouco significativo, tal como constatou Fonti *et al.* (2008). Verificou-se, no entanto, uma correlação positiva para o mês de Setembro ($r=0,30$, $P<0,05$ e $r=0,37$, $P<0,001$, respectivamente), ou seja, precisamente no início da fase de crescimento menos activo por parte da árvore (Quadro 9). Relativamente à temperatura máxima (Quadro 9), a análise é idêntica, com excepção do mês de Maio que apresenta uma correlação negativa significativa ($r=-0,27$, $P<0,05$); ou seja, temperaturas elevadas em plena actividade cambial poderão ser um forte condicionante para o crescimento. A temperatura mínima do mês de Abril apresenta uma correlação positiva significativa com a espessura total do anel ($r=0,28$, $P<0,05$) e com as respectivas componentes ($r=0,27$, $P<0,05$). Temperaturas mínimas baixas no início da actividade cambial são um factor limitante ao crescimento anual (Quadro 12).

As árvores de *Q. pyrenaica* amostradas na encosta norte apresentam uma correlação com a precipitação ligeiramente diferente em relação à amostragem da encosta sul (Quadro 9). O lenho de início de estação regista uma correlação negativa significativa com a precipitação que ocorre no período de Novembro do ano anterior a Março do ano ($r=-0,26$, $P<0,05$), e ainda superior para os períodos de Dezembro do ano anterior a Março do ano ($r=-0,31$, $P<0,05$) e Janeiro a Março ($r=-0,35$, $P<0,001$). A espessura do anel e do lenho de fim de estação têm uma correlação positiva significativa com a precipitação do período de Abril a Maio ($r=0,28$, $P<0,05$ e $r=0,29$, $P<0,05$, respectivamente).

A temperatura não é uma variável climática que apresente muitas correlações significativas com a amostragem de *Q. pyrenaica* da vertente norte (Quadro 10). As exceções são o mês de Dezembro do ano anterior ($r=0,29$, $P<0,05$) e Dezembro do próprio ano ($r=0,28$, $P<0,05$), com um efeito positivo da temperatura média. A temperatura máxima já exerce uma influência significativa positiva ao nível da espessura total do anel para os mesmos períodos ($r=0,36$, $P<0,001$ e $r=0,38$, $P<0,001$, respectivamente) e do lenho de início de estação ($r=0,40$, $P<0,001$ e $r=0,28$, $P<0,05$, respectivamente), assim como no mês de Março sobre a espessura total ($r=0,28$, $P<0,05$), e contrariamente um efeito negativo para Janeiro ($r=-0,27$, $P<0,05$) (Quadro 11).

As jovens árvores do *A. alba* apresentam uma correlação positiva significativa com a precipitação referente ao período de Setembro do ano anterior a Março do ano ($r=0,31$, $P<0,05$) e à precipitação de Novembro do ano anterior ($r=0,30$, $P<0,05$). Não apresentam influência da temperatura com excepção, no entanto, da correlação negativa significativa para a temperatura máxima do mês de Dezembro ($r=-0,29$, $P<0,05$) e a influência positiva significativa da temperatura mínima do mês de Fevereiro ($r=0,31$, $P<0,05$).

As correlações obtidas entre o clima (nomeadamente a precipitação e a temperatura) e as cronologias do *Q. pyrenaica*, *P. sylvestris* e *A. alba* dos dois locais em estudo para o período 1950-2008 não foram suficientemente elevadas para permitir uma estimativa das variações climáticas passadas através de modelos estatísticos que recorrem às séries de anéis de crescimento indexadas. O mesmo foi verificado em outros estudos realizados com *Quercus* spp. (Lebourgeois *et al.*, 2004; Fonti *et al.*, 2008), constatando-se a dificuldade em identificar um sinal climático consistente na espessura total do anel em carvalhos de regiões moderadamente húmidas. Apesar da grande sensibilidade que se registou entre o clima e a espessura dos anéis para determinados meses, poderão ser várias as razões que justifiquem, individualmente ou em conjugação, os resultados obtidos. As variações na largura dos anéis de crescimento das árvores em estudo não estão condicionadas maioritariamente pela precipitação e temperatura, podendo, sim, ser uma combinação de outras variáveis climáticas (por exemplo, o número de dias com geadas e o número de dias com temperatura inferior a 0°C) e não-climáticas. Segundo Fonti *et al.* (2008), estas diferenças entre os parâmetros e locais pode ser explicada quando se consideram os processos envolvidos no registo do sinal climático. O crescimento radial é controlado por factores climáticos, cuja relevância pode variar de ano para ano e entre os locais. Assim, a espessura total do anel incorpora a soma de vários processos que regulam a quantidade de formação da madeira durante toda a época de crescimento, mas não consegue identificar claramente um único factor dominante, o que

De acordo com Carrer *et al.*, 2004, a fisiologia da árvore passa por mudanças com a idade, podendo, de certo modo, contribuir para uma variação ao longo do tempo da relação entre o crescimento da árvore e o clima. Segundo a mesma fonte, o sinal climático é maior em árvores mais velhas. As amostras recolhidas na Serra da Nogueira, são provenientes de árvores consideradas jovens no âmbito de um estudo dendrocronológico, o que poderá contribuir, igualmente, para o sinal climático pouco consistente na espessura dos anéis de crescimento.

Quadro 9. Coeficientes de correlação entre a precipitação e os anéis de crescimento (espessura total (RWW), lenho de início (EWW) e de fim de estação (LWW)), por espécie e local estudadas, para o período de 1950-2008 (* nível de significância 95% ** nível de significância 99% ns não significativo)

[illegible]

	SNSQP			SNSPS			SNNQP			SNNA
	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	
Nov _{i-1} -Mar _i	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,26*	ns	ns
Dez _{i-1} -Mar _i	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,31*	ns	ns
Jan _i -Mar _i	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,35**	ns	ns
Fev _i -Mar _i	ns	ns	ns	ns	ns	0,30*	ns	ns	ns	ns
Out _{i-1} -Dez _{i-1}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Nov _{i-1} -Dez _{i-1}	ns	ns	ns	ns	ns	0,33*	ns	ns	ns	ns
Out _{i-1} -Jan _i	ns	ns	ns	ns	ns	0,27*	ns	ns	ns	ns
Abr _i -Mai _i	0,37**	ns	0,43**	ns	ns	0,38**	0,28*	ns	0,29*	ns
Mar _i -Mai _i	0,36**	0,32*	0,33*	ns	ns	0,26*	ns	ns	ns	ns
Abr _i -Jul _i	0,38**	ns	0,39**	ns	ns	0,47**	ns	ns	ns	ns
Abr _i -Ago _i	0,33*	ns	0,38**	ns	ns	0,48**	ns	ns	ns	ns

Quadro 10. Coeficientes de correlação entre a temperatura média e os anéis de crescimento (espessura total (RWW), lenho de início (EW) e de fim de estação (LW)), por espécie e local estudadas, para o período de 1950-2008 (* nível de significância 95% ** nível de significância 99% ns não significativo)

	SNSQP			SNSPS			SNNQP			SNNA
	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	
Outubro *	ns	ns	ns	-0,31*	ns	-0,35**	ns	ns	ns	ns
Novembro *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dezembro *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,29*	0,30*	ns	ns
Janeiro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,24*	ns
Fevereiro	ns	ns	ns	0,27*	ns	0,27*	ns	ns	ns	ns
Março	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Abril	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Maio	ns	ns	ns	-0,29*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Junho	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Julho	ns	ns	ns	-0,33*	ns	-0,39**	ns	ns	ns	ns
Agosto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Setembro	0,30*	ns	0,37**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Outubro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Novembro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dezembro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,28*	ns	ns	ns

* ano anterior

Quadro 11. Coeficientes de correlação entre a temperatura máxima e os anéis de crescimento (espessura total (RWW), lenho de início (EW) e de fim de estação (LW)), por espécie e local estudadas, para o período de 1950-2008 (* nível de significância 95% ** nível de significância 99% ns não significativo)

	SNSQP			SNSPS			SNNQP			SNNA
	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	
Outubro *	ns	ns	ns	ns	ns	-0,35**	ns	ns	ns	ns
Novembro *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dezembro *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,36**	0,40**	ns	ns
Janeiro	ns	ns	ns	ns	ns		-0,27*	ns	ns	ns
Fevereiro	ns	ns	ns	ns	ns	0,27*	ns	ns	ns	ns
Março	ns	ns	ns	ns	ns		0,28*	ns	ns	ns

	SNSQP			SNSPS			SNNQP			SNNA
	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	RWW
Abril	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Maio	-0,27*		-0,26*	-0,31*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Junho	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Julho	ns	ns	ns	-0,32*	ns	-0,39**	ns	ns	ns	ns
Agosto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Setembro	0,30*	ns	0,36**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Outubro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Novembro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dezembro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,38**	0,28*	ns	-0,29*

* ano anterior

Quadro 12. Coeficientes de correlação entre a temperatura mínima e os anéis de crescimento (espessura total (RWW), lenho de início (EWW) e de fim de estação (LWW)), por espécie e local estudadas, para o período de 1950-2008 (* nível de significância 95% ** nível de significância 99% ns não significativo)

	SNSQP			SNSPS			SNNQP			SNNA
	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	RWW	EW	LW	RWW
Outubro *	ns	ns	ns	-0,34**	ns	-0,30*	ns	ns	ns	ns
Novembro *	0,26*	0,29*	ns	ns	ns	ns	0,26*	ns	ns	ns
Dezembro *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Janeiro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fevereiro	ns	ns	ns	0,26*	ns	0,29*	ns	ns	ns	0,31*
Março	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Abril	0,28*	0,27*	0,27*	ns	-0,28*	ns	ns	ns	ns	ns
Maio	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Junho	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Julho	ns	ns	ns	-0,26*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Agosto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Setembro	ns	ns	0,28*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Outubro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Novembro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dezembro	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* ano anterior

4.4.2.2. Eventos extremos

Um dos eventos extremos que pode levar a uma diminuição do crescimento das árvores, e consequentemente a diminuição da produção florestal, podendo mesmo ser causador da morte das árvores, são as secas severas e recorrentes (Hernández-Santana *et al.*, 2009). O conceito de seca varia de acordo com a área de estudo que aborda este evento: do ponto de vista meteorológico, uma seca ocorre quando a precipitação durante determinado período de tempo é inferior à precipitação média ou a um certo valor da precipitação expresso em percentagem da precipitação média, dependente do local e da estação do ano; do ponto de vista hidrológico, uma seca ocorre sempre que há carência de água, considerando-se não

apenas a precipitação, mas também o escoamento de águas superficiais e/ou subterrâneas (Veiga da Cunha, 1982). De acordo com Bettencourt (1975), a seca é a carência de precipitação, continuação da evapotranspiração e esgotamento do armazenamento. No âmbito do presente estudo, a abordagem feita a este evento refere-se à seca meteorológica.

De acordo com INM (2008), a classificação das secas, em termos de intensidade, é feita de acordo com o índice PDSI (*Palmer Drought Severity Index*), o qual se baseia no conceito do balanço da água tendo em conta dados da quantidade de precipitação, temperatura do ar e capacidade de água disponível no solo (Quadro 13).

Quadro 13. Classificação do Índice de Palmer

Índice de Palmer	Classificação
$\geq 4,00$	Chuva extrema
3,00 a 3,99	Chuva severa
2,00 a 2,99	Chuva moderada
0,50 a 1,99	Chuva fraca
0,49 a -0,49	Normal
-0,50 a -1,99	Seca fraca
-2,00 a -2,99	Seca moderada
-3,00 a -3,99	Seca severa
$\leq -4,00$	Seca extrema

De acordo com o Observatório de Secas do Instituto de Meteorologia, registaram-se sete episódios de seca com maior severidade: 1943/46, 1948/49, 1964/65, 1974/76, 1980/83, 1991/92, 1994/95 e 1998/99 e 2004/06 (Instituto de Meteorologia, 2011).

De acordo com Santos *et al.* (2001), e tal como se verificou na 2ª metade do séc. XX, prevê-se um aumento de frequência de eventos meteorológicos extremos, de entre os quais se inclui a seca. Um dos cenários prevê, por um lado, uma redução da precipitação anual na ordem dos 100 mm, com especial destaque para a precipitação no período da primavera e, em menor escala, no verão; por outro, prevê um aquecimento significativo, com um aumento da temperatura entre 4°C e 7°C, em 2080-2100, e um aumento significativo do número de dias com temperatura superior a 35°C.

A análise dos eventos extremos que a seguir se apresenta não entra em linha de conta com a espécie *A. alba* pelo facto de serem árvores muito jovens e da variabilidade do crescimento associada à idade, tal como anteriormente já foi referido.

4.4.2.2.1. Análise nas séries de anéis de crescimento

Uma análise inicial, e meramente visual, das séries dos anéis de crescimento das espécies em estudo e dos diferentes locais (Figuras 23 e 24) revela que o *Q. pyrenaica*, para ambas as encostas, e apesar da variabilidade inter-árvores, reage às principais grandes secas ocorridas em Portugal Continental na segunda metade do séc. XX e início do séc. XXI. As árvores da espécie *Q. pyrenaica* situadas na encosta sul apresentam uma reacção evidente, mais ou menos acentuada, a grande parte destes eventos climáticos extremos (Figura 23), registando-se uma redução ao nível da espessura total do anel assim como às suas componentes, ao invés das árvores da encosta norte, em que as reacções são mais notórias em apenas quatro dos eventos extremos em análise (Figura 24). Outros estudos também registaram idêntico comportamento das árvores em condições de seca (Eilmann *et al.*, 2009; Tessier *et al.*, 1994; Oberhuber *et al.*, 1998), ou seja, uma redução do crescimento radial pelo facto de se registar uma alteração na prioridade de alocação das reservas de carbono na formação dos gomos apicais e no crescimento das raízes, em detrimento do crescimento do tronco (Eilmann *et al.*, 2009).

Em termos médios para as quinze árvores analisadas de *Q. pyrenaica* da encosta sul, na seca de 1974/76, a espessura do anel diminui de 0,54 mm para 0,36 mm de 1974 e 1975 para 1976, aumentando para 0,65 mm de 1976 para os dois anos seguintes; percentualmente, significa uma redução de 34%, recuperando em cerca de 83% em 1977 e 1978. Na seca verificada em 1998/99, a espessura do anel diminui de 0,88 mm para 0,61 mm de 1997 e 1998 para 1999, aumentando para 0,82 mm de 1999 para os dois anos seguintes; percentualmente, significa uma redução de 30% e uma recuperação de 34%. Na seca de 2004/06, constata-se uma redução média da espessura do anel de 0,78 mm para 0,61 mm de 2004 e 2005 para 2006, aumentando para 0,82 mm de 2006 para os dois anos seguintes; percentualmente, equivale a uma redução de 21% e um acréscimo de 33%.

Em termos médios para as catorze árvores analisadas de *Q. pyrenaica* da encosta norte, constata-se reduções e recuperações da espessura dos anéis de crescimento mais acentuadas. Na seca de 1974/76, a espessura do anel diminui de 0,69 mm para 0,33 mm de 1974 e 1975 para 1976, aumentando para 0,95 mm de 1976 para os dois anos seguintes; percentualmente, significa uma redução de 52% e uma recuperação de 188%. Na seca de 1994/95, a espessura do anel diminui de 1,83 mm para 1,26 mm de 1993 e 1994 para 1995, aumentando para 1,56 mm de 1995 para os dois anos seguintes; percentualmente, significa uma redução de 31% e uma recuperação de 24%. Na seca de 2004/06, constata-se uma redução média da espessura do anel de 1,47 mm para 0,62 mm de 2004 e 2005 para 2006,

aumentando para 1,41 mm de 2006 para os dois anos seguintes; percentualmente, equivale a uma redução de 58% e um acréscimo de 127%.

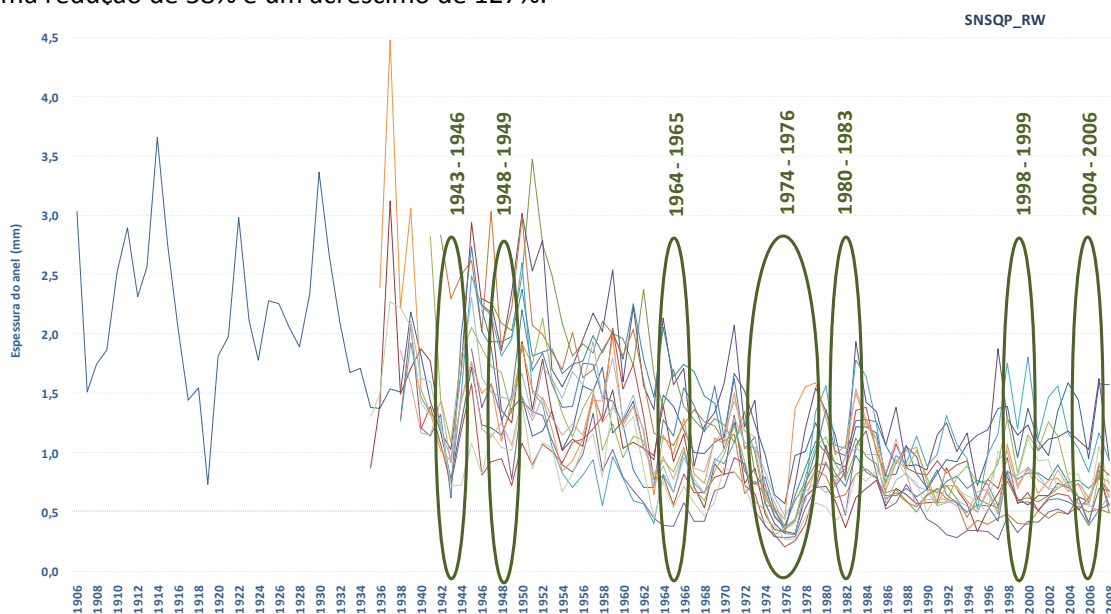


Figura 23. Identificação das principais secas nas séries de crescimento dos anéis do *Q. pyrenaica* localizados na encosta sul da Serra da Nogueira (SNS)

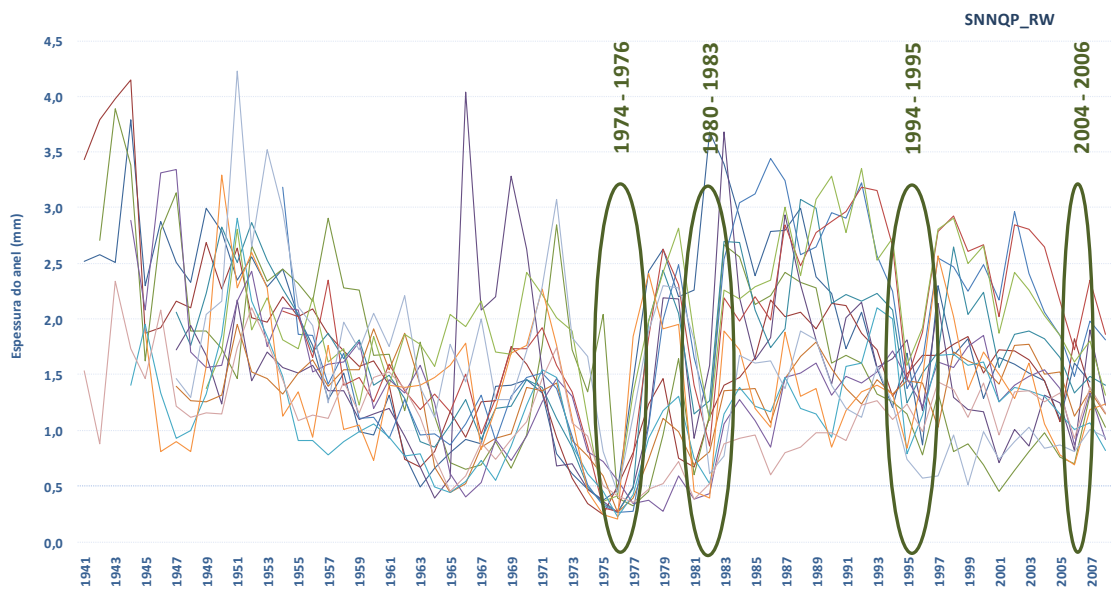


Figura 24. Identificação das principais secas nas séries de crescimento dos anéis do *Q. pyrenaica* localizados na encosta norte da Serra da Nogueira (SNN)

O *P. sylvestris* não apresenta uma resposta tão evidente às secas anteriormente mencionadas, sendo, no entanto a seca verificada em 2004/06 a que provoca uma reacção comum em todas as árvores amostradas (Figura 25). Neste caso particular, e em termos médios para as quinze árvores analisadas, a espessura do anel diminui de 1,11 mm para 0,70 mm de 2004 e 2005 para 2006, aumentando para 1,05 mm de 2006 para os dois anos seguintes. Ou seja, em termos percentuais, verifica-se uma redução na ordem dos 37%, recuperando em cerca de 50% em 2007 e 2008. O mesmo se verifica para a seca de 1974/76, mas em menor escala, com

uma redução média da espessura do anel de 2,90 mm para 2,38 mm de 1974 e 1975 para 1976, aumentando para 2,47 mm de 1976 para os dois anos seguintes. Em termos percentuais, significa uma redução de 18% e uma recuperação de 3% em 1977 e 1978.

De acordo com um estudo realizado sobre a influência da topografia no crescimento radial do *P. sylvestris* (Oberhuber *et al.*, 2000), os autores concluem que as condições edáficas do local e/ou o microclima podem influenciar o crescimento da árvore, criando uma grande variabilidade entre as séries de anéis de crescimento individuais.

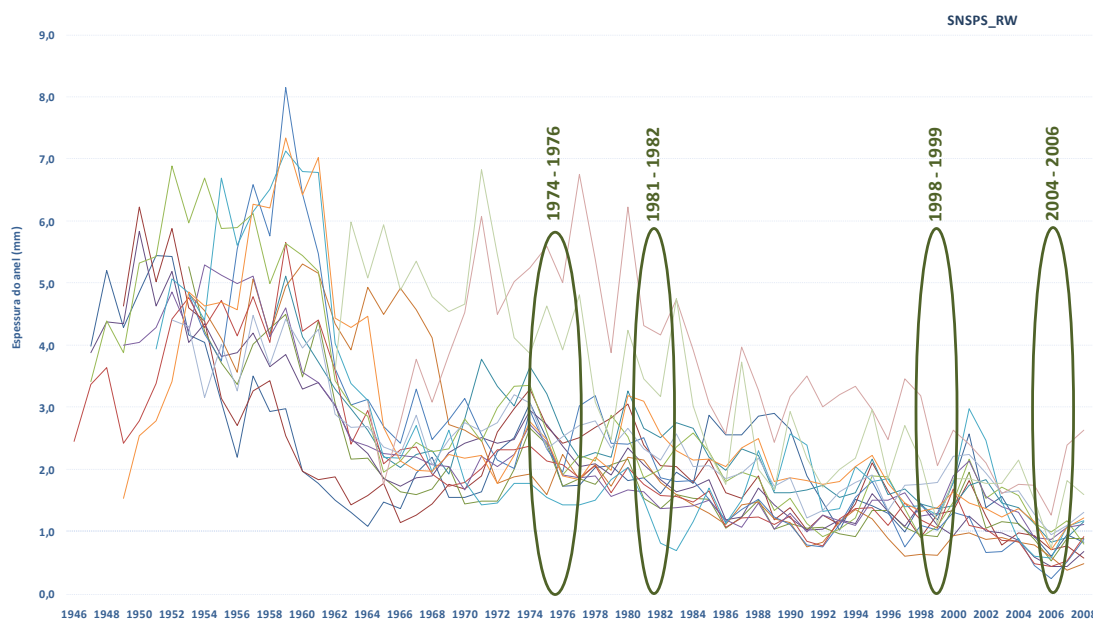


Figura 25. Identificação das principais secas nas séries de crescimento dos anéis do *P. sylvestris* localizados na encosta sul da Serra da Nogueira (SNS)

4.4.2.2.2. Anos indicadores

A determinação dos anos indicadores (*pointer years*) através da variação da alteração do crescimento dos anéis entre anos consecutivos (ver ponto 3.7 do Cap 4), vem evidenciar qual(ais) da(s) seca(s) acima mencionadas se reflectem em reduções extremas do crescimento das árvores. Nas Figuras 26 a 28 apresentam-se, por espécie e local, o número de árvores que apresentam as seguintes taxas de variação do crescimento do ano relativamente à média obtida entre o mesmo e os quatro anos anteriores: decréscimo superior a 70% ($<70\%$); decréscimo entre 55% e 70% ($[-70\%, -55\%]$); decréscimo entre 40% e 55% ($[-55\%, -40\%]$); decréscimo até 40% ($[-40\%, 0]$); crescimento até 66% ($[0\%, 66\%]$); crescimento entre 66% e 122% ($[66\%, 122\%]$); crescimento entre 122% e 233% ($[122\%, 233\%]$); crescimentos superior a 233% ($>233\%$).

Do total das sete secas com maior severidade verificadas em Portugal na 2ª metade do séc XX e início do séc. XXI, constata-se que o *Q. pyrenaica* amostrado na encosta sul foi mais afectado no seu crescimento pelo evento de 1974/76 (Figura 26), com especial destaque para o lenho de fim de estação (Figura 27C) que regista 67%, 80% e 60% das suas árvores com decréscimo de crescimento superior a 55% nos anos de 1974, 1975 e 1976, respectivamente. Apesar de o lenho de início de estação ser menos sensível às variáveis climáticas, constata-se que as árvores também foram afectadas pela mesma seca, com o total das suas árvores a serem afectadas com decréscimos de crescimento até 55% em 1975 e 1976 (Figura 26B). Para o ano de 1974 registaram-se, em todas as árvores amostradas, decréscimos menores do lenho de início de estação (até 40%). Na avaliação global do efeito da seca de 1974/76 na largura total do anel, verifica-se um aumento gradual do número de árvores com crescimento afectado negativamente superior a 40%, de 1974 a 1976, em cerca de 40%, 67% e 80%, respectivamente. De notar que a seca de 2004/06, considerada a seca com maior extensão territorial (100% do território afectado) e a mais intensa (tendo em conta os meses consecutivos em seca severa e extrema), não foi muito marcante no crescimento do *Q. pyrenaica*, tendo sido mais nítido um decréscimo no crescimento do lenho de fim estação (Figura 26C).

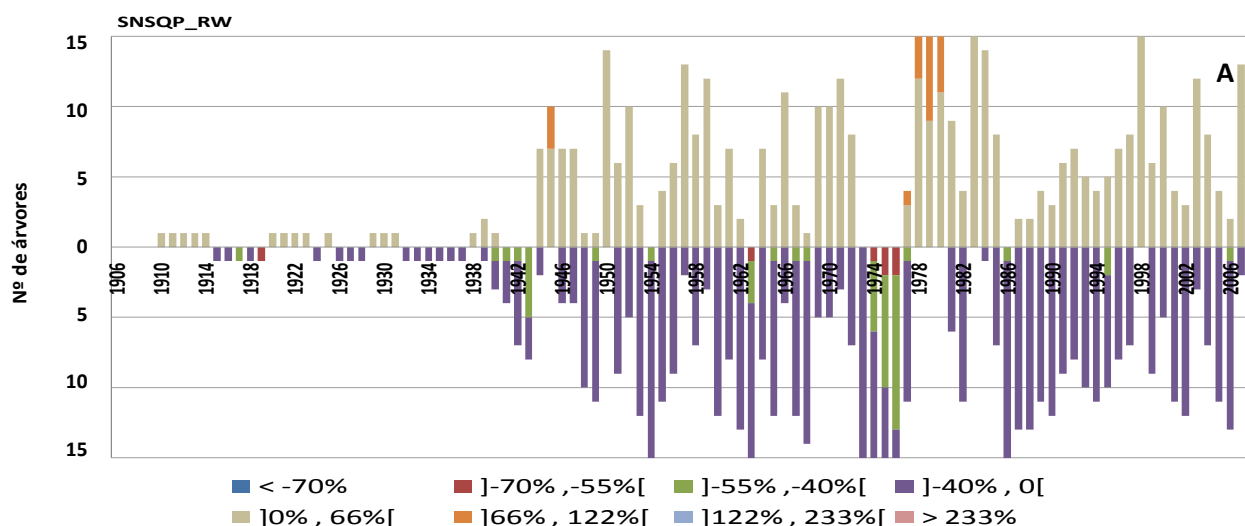


Figura 26. Número de árvores por cada intervalo de variação da alteração do crescimento [A] da espessura total do anel [B] do lenho de início de estação [C] do lenho de fim de estação, para a espécie *Q. pyrenaica* localizada na encosta sul, para o período 1906-2008

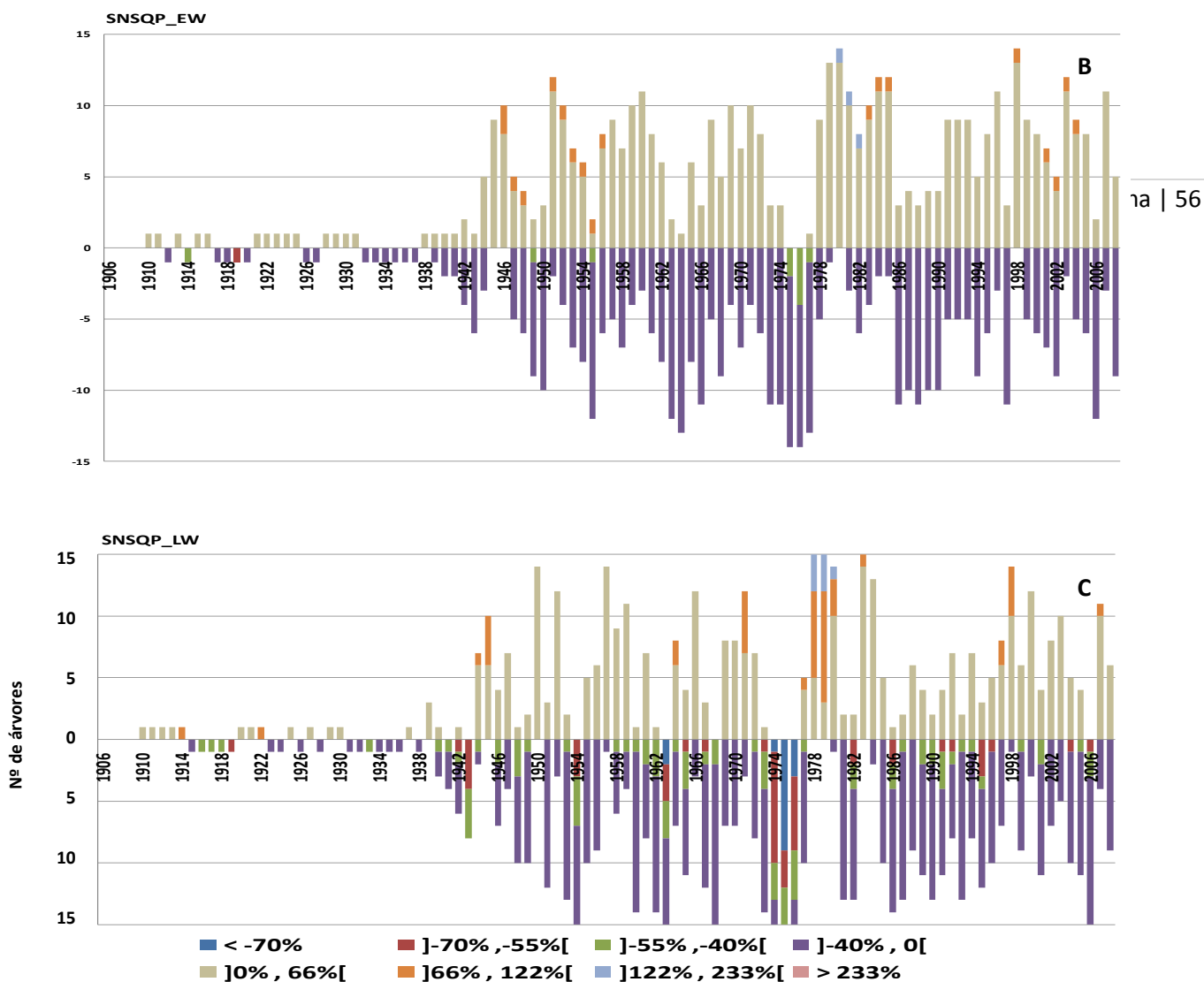


Figura 26. (continuação) Número de árvores por cada intervalo de variação da alteração do crescimento [A] da espessura total do anel [B] do lenho de início de estação [C] do lenho de fim de estação, para a espécie *Q. pyrenaica* localizada na encosta sul, para o período 1906-2008

As árvores amostradas na encosta norte do *Q. pyrenaica* foram igualmente afectadas pela seca severa de 1974/76 (Figura 27), com especial destaque para o lenho de fim de estação (Figura 27C) que regista 21% e 57% das suas árvores com decréscimo de crescimento superior a 70% nos anos de 1974, 1975 e 1976, respectivamente. O lenho de início de estação foi mais afectado pela mesma seca, quando comparado com as amostras da encosta sul, com 46% e 85% das suas árvores a serem afectadas com decréscimos de crescimento acima de 40% em 1975 e 1976, respectivamente. Em 1974, 86% das árvores registaram decréscimos do lenho de início de estação entre 0% e 40% (Figura 27B). Na avaliação global do efeito da seca de 1974/76 na largura total do anel, verifica-se que os anos de 1975 e 1976 foram mais drásticos, com 50% e 78% das árvores a registarem um decréscimo no crescimento superior a 55%

(Figura 27A) e uma percentagem significativa de árvores com reduções de crescimento acima de 70% (21%).

Relativamente a outros eventos extremos, as árvores do *Q. pyrenaica* amostradas da encosta norte não reagiram à seca de 2004/06. No entanto, as árvores reagiram à seca de 1964/65, apesar de em menor escala comparativamente com a ocorrida em 1974/76. Aproximadamente um terço das árvores apresentaram um decréscimo no seu crescimento superior a 40% nos anos de 1964 e 1965 e, no ano seguinte, ainda se reflectia o evento da seca na espessura dos anéis com decréscimos na mesma ordem de grandeza em cerca de 20% das árvores (Figura 27A). Perante esta seca, o lenho de início de estação não foi tão afectado comparativamente com o lenho de fim de estação (Figura 27B).

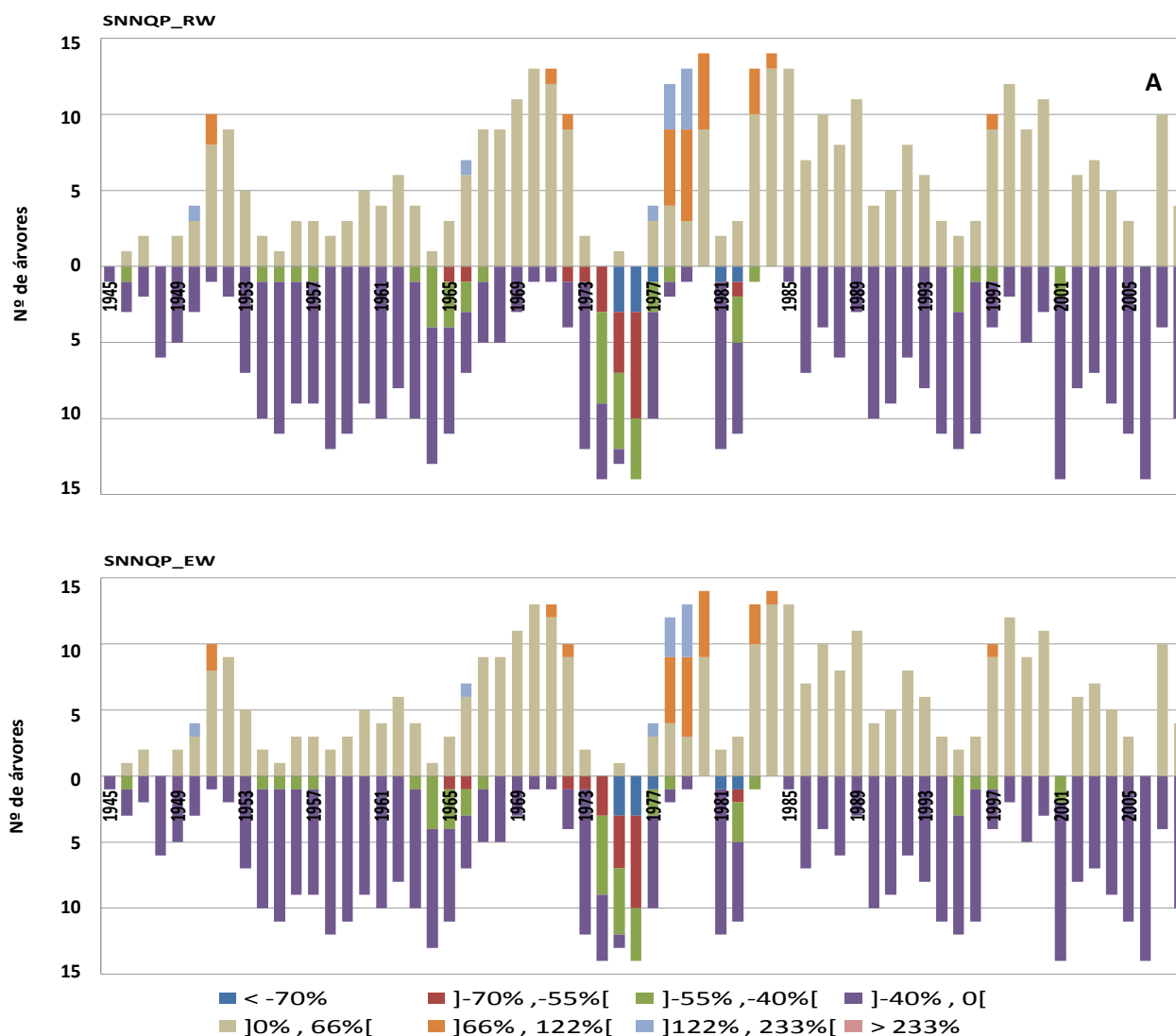


Figura 27. Número de árvores por cada intervalo de variação da alteração do crescimento [A] da espessura total do anel [B] do lenho de início de estação [C] do lenho de fim de estação, para a espécie *Q. pyrenaica* localizada na encosta norte, para o período 1945-2008

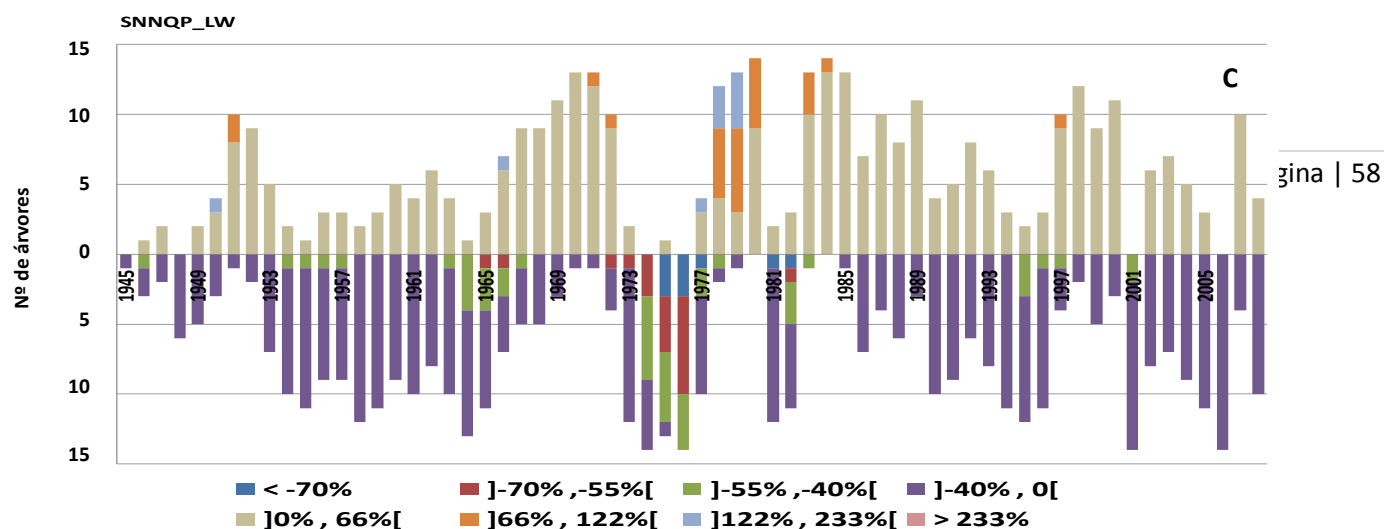


Figura 28. (continuação) Número de árvores por cada intervalo de variação da alteração do crescimento [A] da espessura total do anel [B] do lenho de início de estação [C] do lenho de fim de estação, para a espécie *Q. pyrenaica* localizada na encosta norte, para o período 1945-2008

O *P. sylvestris* amostrado na encosta sul apresentou um comportamento reactivo às secas extremas diferente quando comparado com o *Q. pyrenaica* no mesmo local de amostragem (Figura 28). O *P. sylvestris* reagiu mais acentuadamente à seca mais intensa (2004/06), reflectindo-se mais no lenho de fim de estação (Figura 28C). Nos anos de 2004, 2005 e 2006, cerca de 20%, 93% e 53% das árvores registaram, respectivamente, um decréscimo no seu crescimento do lenho de fim de estação superior a 40%. Analisando a largura total do anel, constata-se que o ano mais reactivo foi em 2006, com 47% das árvores a terem um decréscimo no seu crescimento superior a 40% (Figura 28A). Tal como foi constatado no *Q. pyrenaica*, o lenho de início de estação regista uma menor sensibilidade.

Apesar de não se ter registado um evento extremo nos anos de 1962 e 1963, constata-se que o lenho de fim de estação sofreu uma redução significativa na sua espessura. Porém, a seca de 1964/65 terá contribuído para que a recuperação do crescimento não tenha sido bem sucedida, uma vez que cerca de 70% das árvores amostradas apresentaram um decréscimo na espessura do lenho de fim de estação superior a 40% no ano de 1965 (Figura 28C). Quando analisado o anel na sua espessura total, não são tão evidentes as consequências da seca de 1964/65 (Figura 28A).

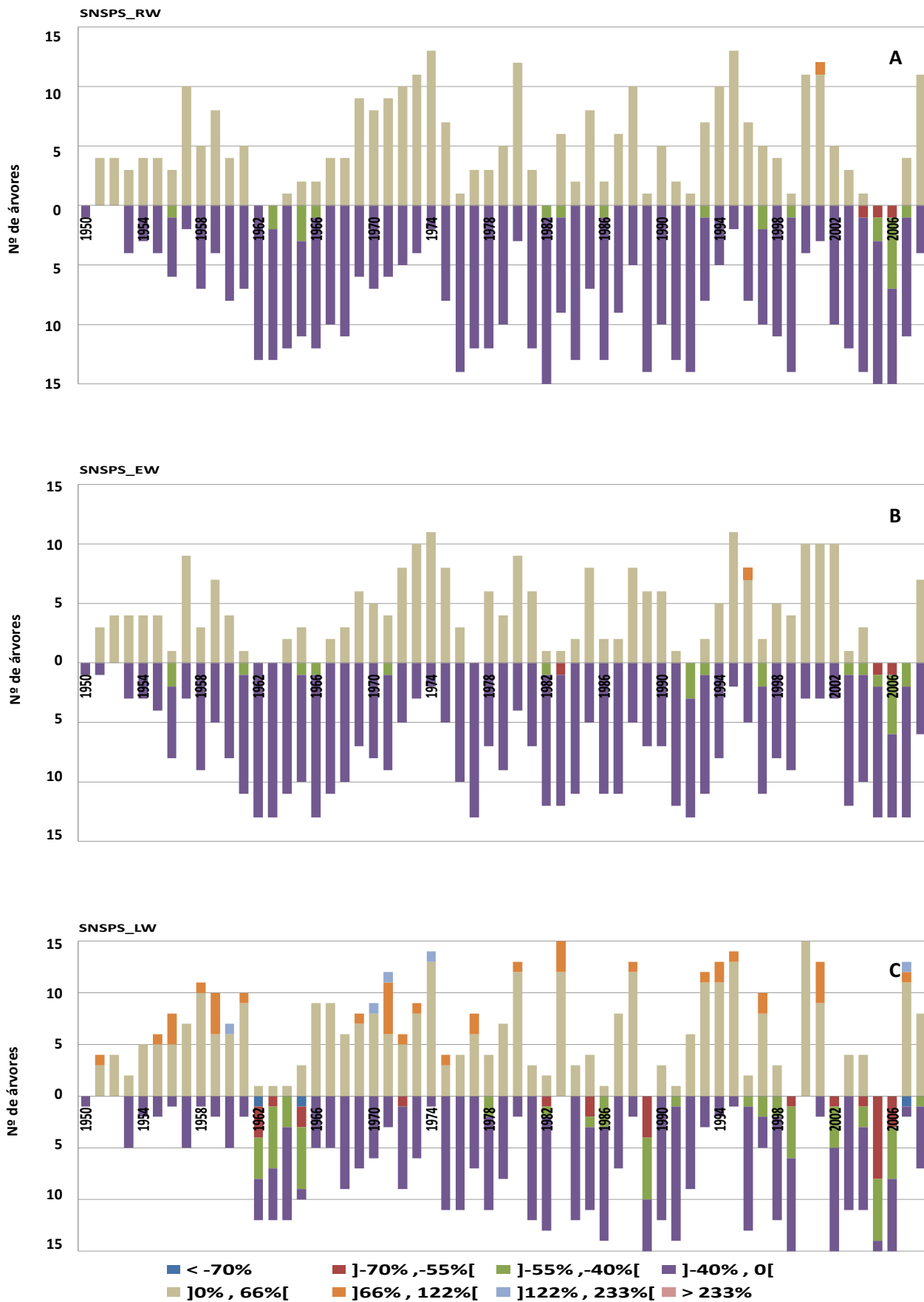
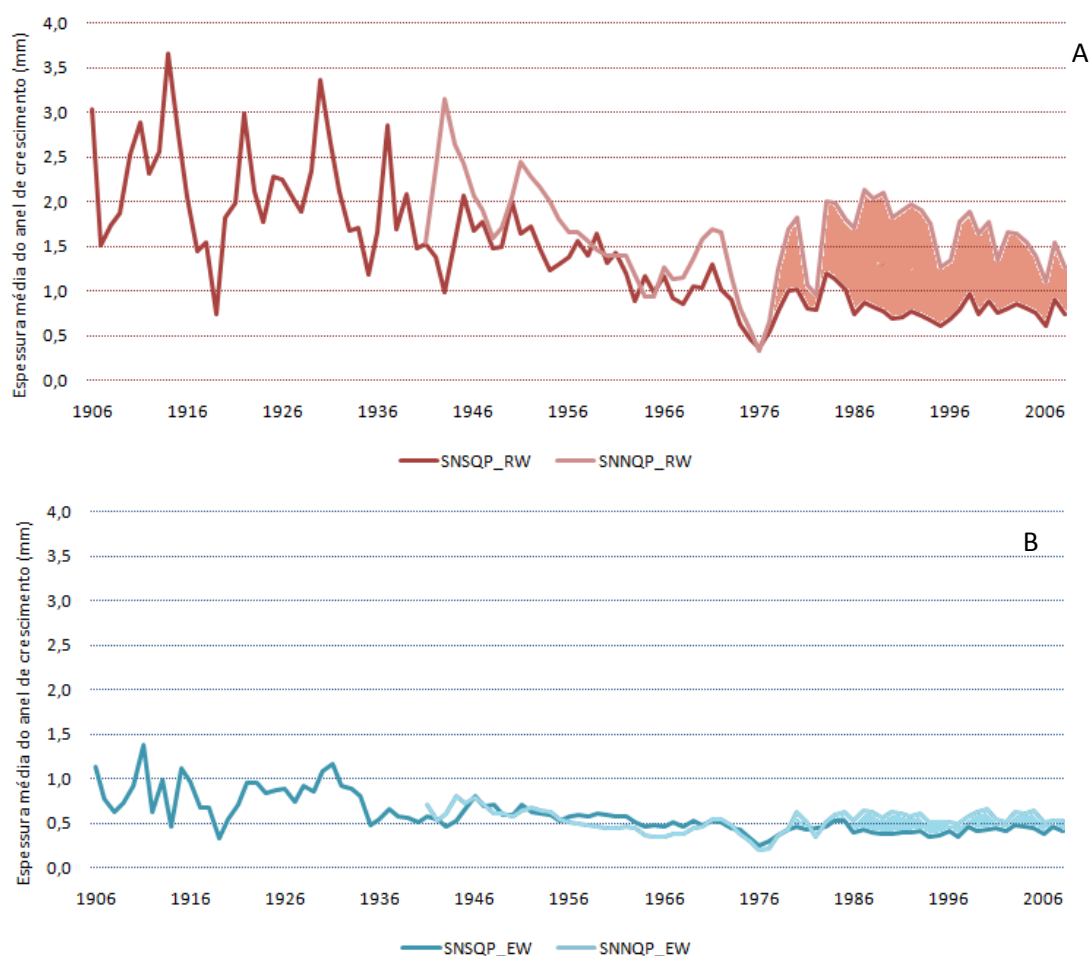


Figura 29. Número de árvores por cada intervalo de variação da alteração do crescimento [A] da espessura total do anel [B] do lenho de início de estação [C] do lenho de fim de estação, para a espécie *P. sylvestris* localizada na encosta sul, para o período 1950-2008

4.4.2.3. Recuperação do *Quercus pyrenaica* Willd. após a seca 1974/76

A resposta das árvores à escassez de água é complexa, envolvendo alterações adaptativas e/ou efeitos nefastos (Chaves *et al.*, 2002). O stress hídrico induz a restrições ao crescimento e à transpiração. A redução da disponibilidade de água altera as interfaces solo-raiz e folhas-atmosfera e ameaçam a integridade da fase líquida contínua do solo às folhas. Os fluxos de água e CO₂ decrescem devido, principalmente, ao fecho dos estomas; consequentemente, o crescimento das árvores é menor e a sobrevivência individual das árvores poderá ser problemática em casos extremos de esgotamento de água no solo (Hernández-Santana *et al.*, 2009).

Uma vez constatado que as árvores do *Q. pyrenaica*, das encostas norte e sul, foram nitidamente afectadas pela seca severa de 1974/76, analisa-se de seguida como foi a recuperação nos anos seguintes, em termos de espessura total do anel e lenhos de início e fim de estação (Figura 29).



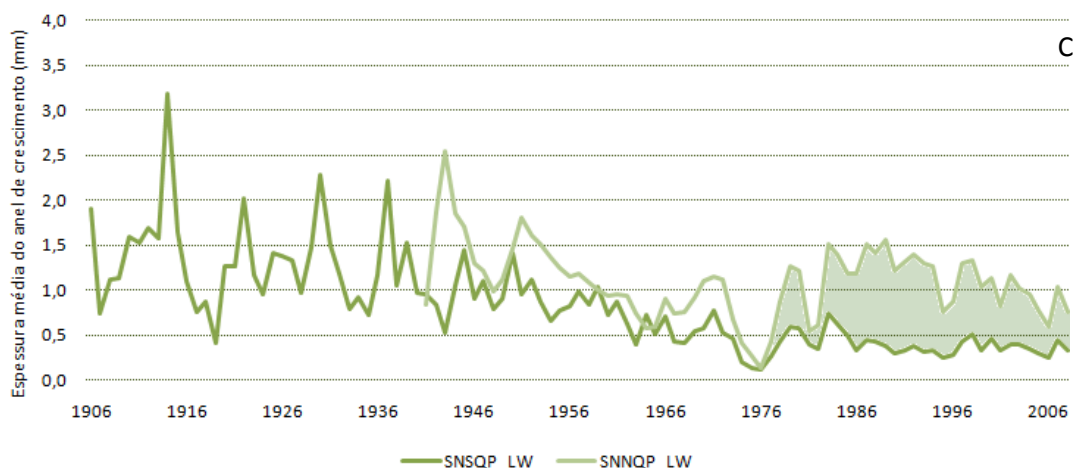


Figura 31. (continuação) Espessura média do anel de crescimento do *Q. pyrenaica* nas vertentes norte (SNNQP) e sul (SNSQP) da Serra da Nogueira relativamente a [A] espessura total [B] lenho de início de estação e [C] lenho de fim de estação

Lerch (1991) afirma que, em zonas climáticas temperadas, as árvores individuais viradas para sul apresentam anéis de crescimento mais largos. Por seu lado, Fonti *et al.* (2008), num estudo realizado com carvalhos num clima temperado, constatam que a espessura total do anel, assim como o lenho de início e fim de estação, apresentam uma espessura média inferior nos locais com clima mais seco. Para os três parâmetros analisados no presente trabalho, espessura total e lenhos de início e fim de estação, a capacidade de recuperação das árvores da encosta sul é menor, após a seca de 1974/76, relativamente às árvores da encosta norte. Os anéis de crescimento das árvores da encosta norte, antes e após o ano de 1976, registaram, em termos médios, um aumento da sua espessura total de 1,30 mm para 1,62 mm, representando um acréscimo de cerca de 25%. Em termos de análise das duas componentes do anel de crescimento, de destacar o aumento da espessura do lenho de início de estação na ordem dos 54%, registando-se um acréscimo de 27% no lenho de fim de estação. Contrariamente, as árvores da encosta sul, para além de terem apresentado anéis mais finos, a espessura média diminuiu de 1,11 mm para 0,81 mm, comparando os anos antes e após 1976, ou seja, um decréscimo de 27%. Relativamente à análise das duas componentes do anel de crescimento, a maior contribuição para a redução da espessura total do anel é dada pelo lenho de fim de estação, registando um decréscimo de cerca de 35%, ao passo que a espessura do lenho de início de estação diminuiu em 18%.

Poderão ser várias as razões que justifiquem os resultados obtidos, podendo agir separada ou conjuntamente. A topografia é um dos factores do local mais importante que afecta os balanços energético e hídrico através da radiação incidente recebida no local e, consequentemente, influenciando a quantidade e disposição de água no solo (Fritts, 1976). De acordo com o mesmo autor, nas baixas latitudes, a encosta sul consegue receber tanta

radiação solar no inverno como no verão e as temperaturas no inverno são altas. Consequentemente, as árvores, em tais locais, estão mais susceptíveis de se manterem fisiologicamente activas, inclusive durante parte do inverno. Durante o dia, a temperatura das plantas sob luz solar directa pode ultrapassar a temperatura do ar. No entanto, a temperatura do solo pode ser relativamente baixa, pelo que as altas temperaturas diurnas conseguem causar uma transpiração que excede a absorção de água, provocando um stress hídrico e a dissecação dos tecidos da planta, mesmo com disponibilidade de água no solo. Consequentemente, a fotossíntese líquida em árvores situadas nas baixas latitudes pode ser mais limitada pelas altas temperaturas no Inverno do que pelas baixas temperaturas. Nas encostas viradas a sul a baixas latitudes, a temperatura, em qualquer altura do ano, pode ser suficientemente alta para ser prejudicial às condições fisiológicas das árvores, consequentemente afectando o crescimento na Primavera seguinte. A contribuir para o registo de um menor crescimento das árvores viradas a sul, poderá ser o facto de a superfície do solo, nestas condições, poder atingir 70°C, semelhante aos trópicos e sub trópicos (Lerch, 1991), contribuindo assim para o desenvolvimento de condições de stress hídrico ao nível do solo. Para as diferenças de taxas de crescimento observadas nas árvores de *Q. pyrenaica* nas duas vertentes em estudo poderão contribuir os factos climatológicos referidos por Santos *et al* (2001), nomeadamente a taxa de aquecimento observada, em Portugal, desde 1976, ser significativamente maior e com uma tendência decrescente da precipitação, mais significativa depois de 1976.

De acordo com Aguiar (2000), a exposição tem um efeito marcado na distribuição dos leptossolos, com as encostas viradas a sul a serem mais propícias para esta classe de solos em relação às encostas viradas a norte. Esta constatação poderá contribuir igualmente para a diferenciação constatada no crescimento das árvores nas duas vertentes.

As proporções dos lenhos de início e fim de estação relativamente à espessura total do anel variam ao longo do tempo e entre vertentes (Figura 30). Tal como foi evidenciado em outros estudos com *Quercus* spp. (Fonti *et al.*, 2008), as árvores de locais mais secos (neste caso, referente à encosta sul) apresentam uma maior proporção de lenho de início de estação. Para o período de análise 1951-2008 (período coincidente nas amostragens das duas encostas), a proporção de lenho de início e de fim de estação nas árvores da encosta sul foi de 49%-51%, tendo-se verificado uma maior diferença de valores nas árvores da encosta norte, 36%-64%.

É igualmente evidente a afectação da seca severa de 1974/76 na proporção de lenho de início e fim de estação no anel de crescimento. As árvores da encosta norte mantêm, em termos médios, aproximadamente a mesma proporção antes (34%-66%) e após (36%-64%) o evento

climático. Por seu lado, as árvores da encosta sul registam, em termos médios, um aumento na proporção do lenho de início de estação após os anos 1974/76, de 43% para 54% da espessura total do anel. No entanto, nos três anos de seca, as árvores produzem muito mais lenho de início de estação, com as árvores das encostas sul e norte a registarem uma proporção de 68%-32% e 58%-42%. A redução da espessura do lenho de fim de estação em anos de seca foi igualmente constatado por Eilmann *et al.* (2009).

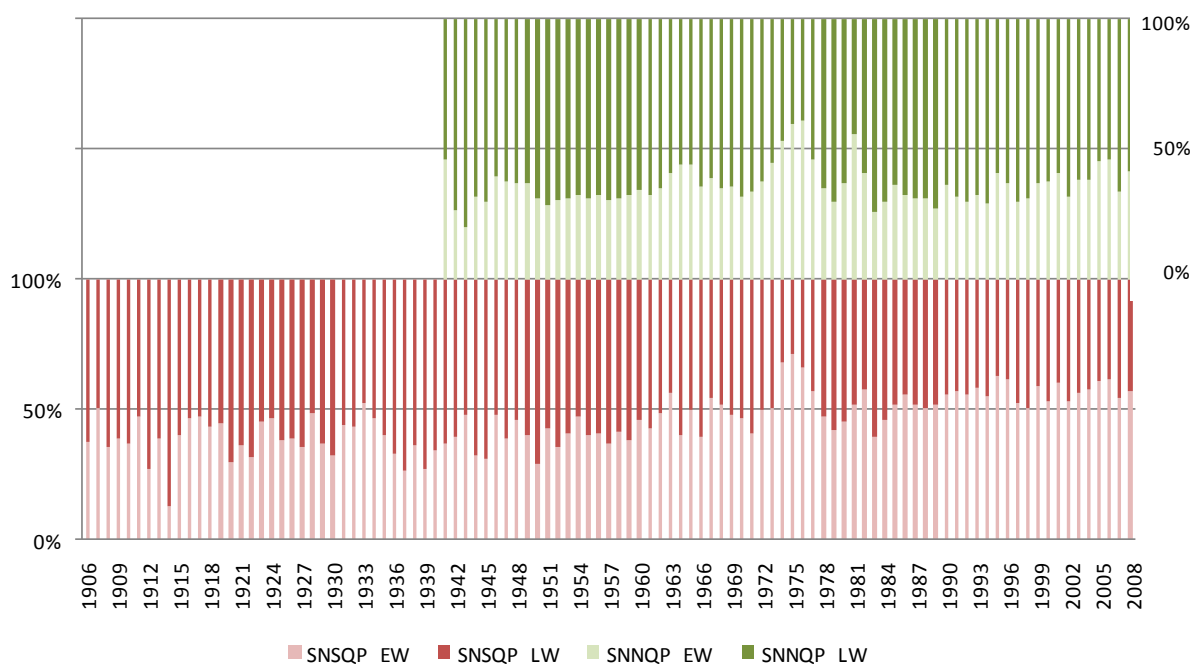


Figura 32. Proporção do lenho de início de estação (EW) e do lenho de fim de estação (LW) na espessura total do anel de crescimento do *Q. pyrenaica* nas vertentes norte (SNNQP) e sul (SNSQP) da Serra da Nogueira

No estudo efectuado por Corcuera *et al.* (2004) sobre o efeito de quatro anos de seca (1992-1995) no crescimento e propriedades anatómicas em *Quercus faginea*, constatou-se que, precisamente nos anos mais secos, as árvores não produziam lenho de fim de estação, sendo os anéis de crescimento formados quase inteiramente por vasos de início de estação. A idêntica conclusão chegou a Eilmann *et al.* (2009) em *Quercus pubescens* Willd. Segundo este autor, em carvalhos com porosidade em anel, a maior parte do transporte de água dá-se pelos vasos de grande dimensão do lenho de início de estação dos anéis de crescimento mais periféricos, registando-se, em cada Primavera, um acréscimo de, pelo menos, uma fiada de vasos de lenho de início de estação. Consequentemente, os carvalhos têm a possibilidade de renovar a sua capacidade máxima de condutividade da água em cada Primavera, tratando-se, pois, de uma estratégia bem sucedida em climas com verões secos. No entanto, os vasos de lenho de fim de estação também são importantes no transporte de água nos carvalhos,

representando um “sistema de emergência” no transporte de água juntamente com os traqueídos no caso de ocorrer a cavitação nos vasos de lenho de início de estação. De acordo com Corcuera *et al.* (2004), o risco de cavitação aumenta fortemente nos anéis de crescimento mais finos com uma pequena percentagem, ou mesmo ausência, do lenho de fim de estação.

CAP 5. Conclusões

O presente trabalho incidiu no estudo da influência do clima sobre o crescimento de árvores de *Quercus pyrenaica* Willd. e *Pinus sylvestris* L., amostradas em encostas com exposições solares a norte e a sul na Serra da Nogueira, através de técnicas dendrocronológicas.

Página | 65

Encontraram-se correlações fortes positivas e significativas entre o crescimento dos anéis, nas árvores da encosta virada a sul, e a precipitação da primavera e do Verão. Este efeito do clima sobre o crescimento não se verificou na encosta norte. Apesar das correlações significativas, conclui-se que o crescimento radial das árvores não é exclusivamente influenciado por um só factor climático isolado. O crescimento das árvores nos locais amostrados poderá, sim, estar relacionado com uma combinação de várias variáveis climáticas com outras e/ou com factores não-climáticos. As correlações obtidas entre as cronologias criadas para o *Q. pyrenaica* e *P. sylvestris* dos locais em estudo e a precipitação/temperatura não foram suficientemente significativas para permitir uma estimativa das variações climáticas passadas através de modelos estatísticos que recorrem às séries de anéis de crescimento indexadas.

Comparando as encostas norte e sul, a reacção do *Q. pyrenaica* ao clima é nitidamente ao nível da resposta a eventos extremos pontuais, nomeadamente a seca, e posterior recuperação das árvores, do que em relação às correlações da espessura dos anéis de crescimento com a precipitação e a temperatura de longo prazo. A espessura dos anéis de crescimento do *Q. pyrenaica* da encosta norte, antes e após a seca severa de 1974/76, registaram, em termos médios, um acréscimo de cerca de 25%. Contrariamente, os anéis de crescimento do *Q. pyrenaica* da encosta sul, para além de serem menores, apresentaram um decréscimo de 27%, em termos médios.

As proporções dos lenhos de início e fim de estação relativamente à espessura total do anel do *Q. pyrenaica* variam ao longo do tempo e entre vertentes, com as árvores de locais mais secos (neste caso, referente à encosta sul) a apresentarem uma maior proporção de lenho de início de estação. É evidente a afectação da seca severa de 1974/76 na proporção de lenho de início e fim de estação no anel de crescimento, principalmente nas árvores da encosta sul, com um aumento na proporção do lenho de início de estação após os anos 1974/76; as árvores da encosta norte mantêm, em termos médios, aproximadamente a mesma proporção antes e após o evento climático. No entanto, nos três anos de seca, as árvores produzem muito mais lenho de início de estação. Dado o grande risco de cavitação associado a anéis de crescimento finos com uma pequena percentagem, ou mesmo ausência, de lenho de fim de estação poder-se-á questionar a capacidade de recuperação da árvore relativamente à condução da

água ao longo dos seus elementos condutores caso ocorram secas mais severas e com maior frequência.

Tendo em conta a reacção do crescimento radial do *Q. pyrenaica* em locais mais secos e a sua menor capacidade de recuperação após secas extremas, poder-se-á questionar a sustentabilidade de grandes manchas desta espécie no norte do país dados os cenários futuros em que se prevê o aumento de ocorrência de eventos de seca. Consequentemente, poder-se-á assistir ao domínio de outros *Quercus* mais resistentes à secura, nomeadamente *Q. ilex* e *Q. suber*.

CAP 6. Bibliografia

A.M.T.F.N.T. (2006). <http://www.rotaterrafria.com/>. (Associação de Municípios da Terra Fria do Nordeste Transmontano) Obtido em 15 de Janeiro de 2011

Aas, G., & Riedmiller, A. (2003). *Gran guía de la naturaleza. Árboles*. (7ª ed.). Espanha: Editorial Everest, S. A.

Aguiar, C. F. (2000). *Flora e vegetação da Serra de Nogueira e do Parque Natural de Montesinho*. Dissertação apresentada no Instituto Superior de Agronomia para a obtenção do grau de doutor, Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa.

Amorini, E., Biocca, M., Manneti, M. C., & Motta, E. (1996). A dendroecological study in a declining oak. *Annals of Forest Science*, 53, pp. 731-742.

Andreu, L., Gutiérrez, E., Macias, M., Ribas, M., Bosch, O., & Camarero, J. J. (2007). Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests. *Global Change Biology*, 13, pp. 804-815.

Bettencourt, M. L. (1975). *Frequência da ocorrência de anos secos e chuvosos em Portugal*. Serviço Meteorológico Nacional.

Bogino, S., Fernández Nieto, M. J., & Bravo, B. (2009). Climate effect on the radial growth of *Pinus sylvestris* at its southern and western distribution limits. *Silva Fennica*, 43(4), pp. 609-623.

Briffa, K. R., Schweingruber, F. H., Jones, P. D., Osborn, T. J., Harris, I. C., Shiyatov, S. G., et al. (1998). Trees tell of past climates: but are they speaking less clearly today? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B 353, pp. 65-73.

Cabrinha, V., & Santo, F. E. (2000). Drought tendencies in Mainland Portugal. 169-181. (D. A. Wilhite, M. V. Sivakumar, & D. A. Wood, Edits.) Lisboa: World Meteorological Organization.

Camarero, J. J., Guerrero-Campo, J., & Gutiérrez, E. (1998). Tree-ring growth and structure of *Pinus uncinata* and *Pinus sylvestris* in the Central Spanish Pyrenees. *Arctic and Alpine Research*, 30, 1, pp. 1-10.

Carrer, M., & Urbinati, C. (2004). Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology*, 85 (3), pp. 730-740.

Carvalho, A. (1996). *Madeiras portuguesas* (Vol. I). Lisboa: Instituto Florestal.

Carvalho, A. (1997). *Madeiras portuguesas* (Vol. II). Lisboa, Portugal: Direcção-Geral das Florestas.

Carvalho, J. (2007). Conservação, regeneração e exploração do carvalho-negral. In J. S. Silva, *Árvores e Florestas de Portugal. Os carvalhais. Um património a conservar* (Vol. 2, pp. 153-167). Lisboa: Público, Comunicação Social, SA. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento.

- Carvalho, J. P., Santos, J. A., & Reimão, D. (2005). O carvalho-negral em Portugal e transformação tecnológica da madeira. Viseu.
- Carvalho, J., & Devy-Vareta, N. (2007). O carvalho-negral ao longo da história. In J. S. Silva, *Árvores e Florestas de Portugal. Os carvalhais. Um património a conservar* (Vol. 2, pp. 137-151). Lisboa: Público, Comunicação Social, SA. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento.
- Carvalho, J., Alves, P. C., Grosso-Silva, J. M., & Santos, T. M. (2007). Biologia e ecologia das florestas de carvalho-negral. In J. S. Silva, *Árvores e Florestas de Portugal. Os carvalhais. Um património a conservar* (Vol. 2, p. 275). Lisboa: Público, Comunicação Social, SA. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento.
- Chatfield, C. (1975). *An analysis of time series. An introduction*. London : Chapman & Hall.
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P., Osório, M. L., et al. (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany* , 89, pp. 907-916.
- Cherubini, P., Gartner, B. L., Tognetti, R., Bräker, O. U., Schoch, W., & Innes, J. L. (2003). Identification, measurement and interpretation of tree rings in wood species from mediterranean climates. *Biological Reviews* , 78, pp. 119-148.
- Coba, A. e. (1991). Carta dos solos do Nordeste de Portugal. Vila Real: UTAD.
- Cook, E. R. (1990). A conceptual linear aggregate model for tree rings. In E. R. Cook, A. Kairiukstis, & I. I. Analysis (Ed.), *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences* (pp. 98-104). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Cook, E. R. (1990). A Conceptual Linear Aggregate Model for Tree Rings. In E. R. Cook, & A. Kairiukstis, *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences* (pp. 98-104). Kluwer Academic Publishers.
- Cook, E. R. (1987). The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-ring Bulletin* , 47, pp. 37-59.
- Cook, E., Briffa, K., Shiyatov, S., Mazepa, V., & Jones, P. D. (1990). Data Analysis. In E. R. Cook, L. A. Kairiukstis, & I. I. Analysis (Ed.), *Methods of Dendrochronology. Applications in the environmental sciences* (pp. 97-162). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Corcuera, L., Camarero, J. J., & Gil-Pelegrín, E. (2004). Effects of a severe drought on growth and wood anatomical properties of *Quercus faginea*. *IAWA Journal* , 25 (2), pp. 185-204.
- Dickison, W. C. (2000). *Integrative plant anatomy*. United States of America: Harcourt Academic Press.
- Earle, C. J. (1997). <http://www.conifers.org>. Obtido em 15 de Janeiro de 2011, de Gymnosperm Database.
- Eilmann, B., Zweifel, R., Buchmann, N., Fonti, P., & Rigling, A. (2009). Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. *Tree Physiology* , 29, pp. 1011-1020.

- Esteban, L. G., Cacasús, A. G., Oramas, C. P., & de Palacios, P. d. (2003). *La madera y su anatomía*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Fonti, P., & García-González, I. (2008). Earlywood vessel size of oak as a potential proxy for spring precipitation in mesic sites. *Journal of Biogeography*, 35, pp. 2249-2257.
- Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press Inc. (London) LTD.
- Gentilesca, T., & Todaro, L. (2008). Crescita radiale e risposte climatiche dell'abete bianco (*Abies alba* Mill.) in Basilicata. *Forest@*, 5, pp. 47-56.
- Gonçalves, G. V. (2007). Dendrocronologia: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade. Centro Interdisciplinar de História, Culturas e Sociedades da Universidade de Évora (CIDEHUS/UE).
- Grissino-Mayer, H. D. (1994). <http://web.utk.edu/~grissino/index.htm>. (University of Tennessee) Obtido em 23 de 03 de 2010
- Gutiérrez, E. (1989). Dendroclimatological study of *Pinus sylvestris* L. in southern Catalonia (Spain). *Tree-Ring Bulletin*, 49, pp. 1-9.
- Gutiérrez, E. (1990). Dendroecologia de *Pinus sylvestris* L. en Cataluña. *Orsis*, 5, pp. 23-41.
- Hernández-Santana, V., Martínez-Vilalta, J., Martínez-Fernández, J., & Williams, M. (2009). Evaluating the effect of drier and warmer conditions on water use by *Quercus pyrenaica*. *Forest Ecology and Management*, 258, pp. 1719-1730.
- Hughes, M. K. (2002). Dendrochronology in climatology - the state of the art. *Dendrochronologia*, 20/1-2, pp. 95-116.
- Humphries, C. J., Press, J. R., & Sutton, D. A. (2005). *Árvores de Portugal e Europa* (2ª ed.). Porto: FAPAS.
- IAWA, C. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identifications. *IAWA Bulletin*, 10 (3), pp. 219-332.
- INM. (2008). <http://www.meteo.pt>. (Instituto de Meteorologia, IP Portugal) Obtido em 11 de Outubro de 2010
- Instituto de Meteorologia, IP Portugal. (s.d.). Obtido em 11 de Outubro de 2010, de <http://www.meteo.pt>.
- Instituto de Meteorologia, IP Portugal. (s.d.). Obtido em 11 de Outubro de 2010, de <http://www.meteo.pt>.
- Lamas, S., & Rozas, V. (2007). Crecimiento radial de las principales especies arbóreas de la isla de Cortegada (Parque Nacional de las Islas Atlánticas) en relación con la historia y el clima. *Investigación agraria: sistemas y recursos forestales*, 16 (1), pp. 3-14.

- Leal, S., Eamus, D., Grabner, M., Wimmer, R., & Cherubini, P. (2008). Tree rings of *Pinus nigra* from the Vienna basin region (Austria) show evidence of change in climatic sensitivity in the late 20th century. *Canadian Journal of Forest Research* , 38, pp. 744-759.
- Leal, S., Eamus, D., Grabner, M., Wimmer, R., & Cherubini, P. (2008). Tree rings of *Pinus nigra* from the Vienna basin region (Austria) show evidence of change in climatic sensitivity in the late 20th century. *Canadian Journal of Forest Research* , 38, pp. 744-759.
- Leal, S., Nunes, E., & Pereira, H. (2008). Cork oak (*Quercus suber* L.) wood growth and vessel characteristics variations in relation to climate and cork harvesting. *European Journal of Forest Research* , 127, pp. 33-41.
- Lebourgeois, F. (2000). Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science* , 57, pp. 155-164.
- Lebourgeois, F., Cousseau, G., & Ducos, Y. (2004). Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Mill. stand in the Forest of Bercé ("Futaie des Clos", Sarthe, France). *Annals of Forest Science* , 61, pp. 1-12.
- Lerch, G. (1991). *Pflanzen Ökologie*. Akademie Verlag.
- Meyer, F. D. (1998-1999). Pointer year analysis in dendroecology: a comparison of methods. *Dendrochronologia* , 16-17, pp. 193-204.
- Miranda, P. M. (2001). *Meteorologia e ambiente. Fundamentos de meteorologia, clima e ambiente atmosférico*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Miranda, P. M., Coelho, F. E., Tomé, A. R., Valente, M. A., Carvalho, A., Pires, C., et al. (2002). *20th century Portuguese Climate and Climate Scenarios in Santos, F.D., K. Forbes, and R. Moita (eds), 2002, Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures (SIAM Project)*. Lisboa, Portugal: Gradiva.
- Moreira, I. (1983). *Histologia vegetal* (3ª ed.). Lisboa: Didáctica Editora.
- Network, W. S. (2007). *Drought management plan report. Including Agricultural, drought indicators and climate change aspects. Technical report 2008-023*. Luxembourg: European Commission.
- Neurwirth, B., Esper, J., Schweingruber, F. H., & Winiger, M. (2004). Site ecological differences to the climatic forcing of spruce pointer years from the Lötschental, Switzerland. *Dendrochronologia* , 21, pp. 69-78.
- Oberhuber, W., & Kofler, W. (2000). Topographic influences on radial growth of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at small spatial scales. *Plant ecology* , 146, pp. 231-240.
- Oberhuber, W., Stumböck, M., & Kofler, W. (1998). Climate-tree-growth relationships of scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness. *Trees* , 13, pp. 19-27.
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought*. . Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce Weather Bureau.

Pilcher, J. R., Schweingruber, F. H., Kairiukstis, L., Shiyatov, S., Worbes, M., Kolishchuk, V. G., et al. (1990). Primary data. In E. R. Cook, L. A. Kairiukstis, & I. I. Analysis (Ed.), *Methods of Dendrochronology. Applications in the environmental sciences* (pp. 23-96). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Richter, K., Eckstein, D., & Holmes, R. L. (1991). The dendrochronological signal of pines trees (*Pinus* spp.) in Spain. *Tree-Ring Bulletin* , 51, pp. 1-13.

Página | 71

Santos, F. D., Forbes, K., & Moita, R. (. (2001). *Mudança climática em Portugal: Cenários, impactes e medidas de adaptação - SIAM. Sumário executivo e conclusões*. Gradiva.

Schweingruber, F. H. (1988). *Tree Rings: basics and applications of dendrochronology*. Dordrecht, Netherland: D. Reidel Publishing Company.

Schweingruber, F. H. (1993). *Trees and wood in dendrochronology*. Springer-Verlag.

Schweingruber, F. H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F., & Bräker, O. U. (1990). Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* , 8, pp. 8-38.

Schweingruber, F. H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F., & Bräker, O. U. (1990). Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* , 8, pp. 9-38.

Strumia, G. (1999). *Tree-ring based reconstruction of precipitation in Eastern Austria*. Wien: Universität für Bodenkultur.

Tessier, L., Nola, P., & Serre-Bachet, F. (1994). Deciduous *Quercus* in the Mediterranean region: tree-ring/climate relationships. *New Phytologist* , 126, pp. 355-367.

Veiga da Cunha, L. (1982). *As secas. Caracterização, impactos e mitigação*. Secretaria de Estado do Urbanismo e Ambiente. Comissão Nacional do Ambiente.

Wigley, T. M., Briffa, K. R., & Jones, P. D. (February de 1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *American Meteorological Society* , pp. 201-213.